

مكتبة الأسرة



مهرجان القراءة للجميع

تأليف: ستيفن هوكنج

ترجمة: د. مصطفى إبراهيم فهمي

تاريخ موجز للزمان

من الانفجار الكبير حتى الثقوب السوداء

الأعمال الفكرية



الهيئة المصرية
العامة للكتاب

تاريخ موجز للزمان

لوحة الغلاف

اسم العمل الفني: الزمان

التقنية: فوتوغرافيا وكولاج

المقاس: ٢٢ × ١٥ سم

تعتمد لوحة الغلاف على التصوير الفوتوغرافي بشكل رئيسي، فالساعة تحتل المنطقة الأمامية من اللوحة، ومن خلفها يبرز الضوء الأزرق في تشكيل فني يعلوه اللون الأسود ليزيد من بهائه، وفي مكان مينا الساعة نرى العديد من صور الانفجارات، وكذا في أعلى اللوحة، ويحمل كل انفجار ألوان مختلفة عما حوله، وكأنما يشير إلينا بتغير الأزمنة وتعاقبها ودورانها المتلاحق.

محمود الهندي

عن الكتاب

كتاب «تاريخ موجز للزمان» هو بمثابة رحلة للملاح بارع يجوب أفاقا عجيبة في علم الكون والفيزياء، مستندا إلى موهبة علمية فذة وسعة أفق خلاقة، بحثا عن الطريق إلى نظرية علمية كبرى توحد سائر النظريات.

ومن الشيق أن المؤلف ستيفن هوكينج رجل معوق ألزمه مرض أعصابه ومضلاته كرسية ذا العجلات طيلة العشرين سنة الأخيرة من عمره الذي بلغ التاسعة والأربعين وهو لا يستطيع حتى أن يمسكه بالقلم ليكتب، بل ولا يستطيع أن ينطق الكلام بوضوح. ومع ذلك فهو يعد أبرز المنظرين في الفيزياء منذ أينشتاين، ويشغل الآن كرسي أستاذ الرياضيات نفسه الذي كان يشغله أسحق نيوتن في كامبريدج. وله بحوث علمية رائعة معروفة، أشهرها ما تناول فيه الثقوب السوداء في الفضاء.

وكتابه هذا أول كتاب يؤلفه لغير المتخصصين، وقد أثار ضجة كبرى في الأوساط الثقافية والعلمية. ويتناول فيه الزمان والكون وطبيعتهما. وأي تناول كهذا لا بد وأن يؤدي إلى الحديث عن الحركة والفضاء والنجوم والكواكب والمجرات. وستعرض الكتاب بأسلوب ممكن مسيرة النظريات الكبرى من الزمان والكون ابتداء من أرسطو وفجالييلو ونيوتن وإينشتاين. ثم يغوص المؤلف بفكرة في أعماق الفضاء في مغامرة فذة، مهتديا بالعلم مع الخيال النشط الخلاق، في محاولة لإيجاد خطوط نظرية جديدة توحّد أهم نظريات القرن العشرين بلا تناقض، وخاصة نظريتي النسبية وميكانيكا الكم. ونظرية موحدة كهذه قد يكون فيها الإجابة عن أسئلة طالما حيرت العلماء وما زالت تحيرهم. فهل يمكن أن ينكمش الكون مثلا بدلا من أن يتعدّد؟ وهل يرتد الزمان وقتها ورا ما فيرى البشر موتهم قبل ميلادهم؟ وهل للكون بداية و/ أو نهاية، وكيف تكونان؟ وهل للكون حدود؟ إن أينشتاين قد جعل للمكان - الزمان أربعة أبعاد، فماذا لو كان للكون أبعاد أكثر، كأن يكون له مثلا أحد عشر بعدا أو أكثر؟

وهذه بعض المسائل التي تناولها الكتاب بأسلوب جلي مبسط ومثير بما يشد القارئ طول الوقت، وبما جعل النقاد العلميين يصنفونه بأنه كتاب كلاسيكي منذ ظهوره، فهو من علامات الطريق في فلسفة ومنهج العلم بحيث لا غنى لمتلق من الإطلاع عليه.

المترجم

د. مصطفى فهمي

هــ

قررت محاولة تأليف كتاب شعبي عن المكان والزمان بعد أن أقيمت محاضرات ليب Loeb في هارفارد عام ١٩٨٢. وقبل ذلك كان ثمة عدد له قدره من الكتب عن الكون في مهده المبكر وعن الثقوب السوداء، وهي كتب تتراوح بين الجيد جدا مثل كتاب ستيفن وينبرج (الدقائق الثلاث الأولى)، والسئ جدا الذي لن أحده. على أنني شعرت أن أيا منها لم يكن يخاطب حقا الأسئلة التي أتت بي إلى القيام بالبحث في علم الكونيات ونظرية الكم : من أين أتى الكون؟ كيف ولماذا بدأ ؟ هل سيصل إلى نهاية، وإذا كان الأمر كذلك، فكيف ستكون النهاية؟ وهذه الأسئلة تثير اهتمامنا جميعا. إلا أن العلم الحديث قد بلغ درجة من التقنية بحيث لا يستطيع إلا عدد صغير جدا من المتخصصين التمكن من الرياضيات المستخدمة في وصفها. على أن الأفكار الأساسية عن أصل ومصير الكون يمكن نكرها دون رياضيات وبشكل يمكن أن يفهمه غير نوى الدراسة العلمية. وهذا هو ما حاولت القيام به في هذا الكتاب والقارئ هو الذي ينبغي أن يحكم عما إذا كنت قد أفلحت في ذلك.

وقد أخبرني البعض بأن كل معادلة أضمنها في الكتاب ستقل المبيعات إلى النصف. ولهذا فقد قررت ألا يكون هناك أى معادلات على الإطلاق. على أنني في النهاية أضلخت «بالفعل» معادلة واحدة، هي معادلة أينشتاين الشهيرة $E = Mc^2$. وأرجو ألا يؤدي هذا إلى أن يولى فرقا نصف ما يحتمل من قرائى.

وبصرف النظر عما كفاني من سوء الحظ لإصابتي بضمور العضلات بالتليف الجانبي، أو مرض العصبية الحركية، فإننى لمحظوظ من كل وجه آخر تقريبا. فما تلقيت من عون وسند زوجتى جين وأطفالى روبرت ولوسى وتيمى، قد جعل فى إمكانى أن أعيش حياة طبيعية إلى حد ما وأن أكون ناجحا فى عملى. وقد كنت محظوظا مرة ثانية إذ اخترت الفيزياء النظرية، لأنها كلها تدور فى الزمن. وهكذا فإن مجزئ لم يكن فيه معوق خطير. وزملائى العلميون بلا استثناء قد ساعدونى أعظم مساعدة.

وفى الطور الأول، «الكلاسيكى» من حياتى العملية كان الزملاء والشركاء الرئيسيين لى هم روجر بنروز، و روبرت جيروتش، وبراندون كارتز، وجورج إليس. وإنى لمعت لهم لما قدموه لى من عون، ولما قمنا به معا من عمل. وقد تجمعت حصيلة هذا الطور فى مؤلف «بنية المكان - الزمان بالمقياس الكبير»، الذى كتبته وإليس فى ١٩٧٣. واست بمن ينصح قراء هذا الكتاب أن يرجعوا إلى

ذلك المؤلف للمزيد من المعلومات: فهو مؤلف على درجة عالية من التقنية، وغير قابل للقراءة إلى حد كبير. وأرجو أن أكون قد تعلمت منذ ذلك الوقت كيفية الكتابة بأسلوب أسهل فهما.

وفي الطور التالي لعملي «طور الكم» الذي بدأ في عام ١٩٧٤، كان شركائى الرئيسيون هم جارى جيبونز، ودون بيج، وجيم هارتل. وإنى أدين لهم بالكثير، كما أدين لطلابى فى البحث، الذين منحونى قدرا عظيما من العون، بما لهذه الكلمة من كلاً معنيها الجسماني والنظري. ولما كان على أن ألاحق طلابى فإن ذلك كان فيه حافز عظيم، وقد أدى فيما أمل إلى منعى من أن تلازمى رتبة كئيبة.

هذا وقد تلقيت عوناً كثيراً فى هذا الكتاب من بريان هويت، أحد طلابى. ويعد أن كتبت المسودة الأولى أصابنى التهاب رئوى فى ١٩٨٥. وكان لابد من أن تجرى لى عملية شق الحنجرة مما أفقدنى القدرة على الكلام، وجعل من شبه المستحيل لى أن أتصل بالآخرين. وظننت أنى لن أتمكن من إنهاء الكتاب. إلا أن بريان لم يقم فحسب بمساعدتى على مزاجته، وإنما جعلنى أيضاً استخدم برنامج اتصالات يسمى «المركز الحى» قد منحه لى والت والتز من شركة ورنز بلاس، فى سنيفيل بكاليفورنيا. وأستطيع بواسطته أن أقوم معا بقراءة الكتب وأوراق البحث، وأن أتحدث للناس مستخدماً مخلّق كلمات منحت لى أيضاً شركة سبيتش بلاس من سنيفيل بكاليفورنيا. والمخلّق هو كمبيوتر شخصى صغير قد تم تركيبهما على كرسى ذى العجلات بواسطة دافيد ماسون. وقد كان فى هذا النظام كل الفارق: والحقيقة أنى أتصل الآن بالآخرين على نحو أفضل مما كنت أفعله قبل أن أفقد صوتى.

وقد وصلتني اقتراحات عن طريقة تحسين هذا الكتاب من عدد كبير من الأفراد الذين رأوا النسخ الأولية. وقد أرسل لى بالذات بيتر جوزاردى، المحرر فى دار نشر كتب بانثام، صفحات وصفحات من التعليقات والاستفهامات عن نقاط شعر هو أنى لم أفسرها بما يلائم. ويجب أن أقر بأنى أصبت بشئ من الضيق عند نفى قائمتها الهائلة عن الأمور التى ينبغى تغييرها، على أنه كان على حق تماماً. وإنى لعلى يقين من أن الكتاب أصبح أفضل كنتيجة أنه وضع أنفى فى الرغام.

كما أنى ممتن جداً لمساعدتى كولن وليامز، ودافيد توماس، وريموند لافلام؛ ولسكرتيراتى جودى فيلا، وأن رالف، وتشيريل بلنجنون، وسوماسى؛ ولغريق مرضياتى. وما كان سيمكن إنجاز أى شئ من هذا دون الدعم المقدم لبحثى ولنفقاتى العلاجية الذى أمدتني به كلية جونفيل وكايوس، ومجلس البحوث العلمية والهندسية، ومؤسسات ليفرهولم، ومكارثر، ونوفيلد، ورالف سميث. وإنى لجد ممتن لهم.

ستيفن هوكينج

٢٠ أكتوبر ١٩٨٧

مقدمة

إننا نمضى فى حياتنا اليومية ونحن لا نكاد نفهم شيئا عن العالم. فنحن لا نفكر إلا قليلا فى الآليات النظام الذى يولد ضوء الشمس الذى يجعل الحياة ممكنة، أو فى الجاذبية التى تلتصقنا بأرض هى لولا ذلك كانت ستترسلنا لندور ملتفين فى الفضاء، أو فى الذرات التى صنعنا منها ونعتمد اعتمادا أساسيا على استقرارها. وباستثناء الأطفال (الذين لا يعرفون ما يكفى لمنعهم من أن يسألوا الأسئلة المهمة)، فإن عددا قليلا منا هم، الذين ينفقون وقتا كثيرا فى تساؤل عن السبب فى أن الطبيعة هى ما هى عليه، ومن أين أتى الكون، أو هل كان دائما هنا؛ وهل يأتى وقت ينساب فيه الزمان وراما وتسبق النتائج الأسباب؛ أو هل ثمة حدود قصوى لما يستطيع البشر أن يعرفوه. بل إن هناك أطفال، قد قابلت بعضا منهم، يريدون معرفة كيف يبدو الثقب الأسود؛ وما هو أصغر جزء من المادة؛ ولماذا نتذكر الماضى وليس المستقبل؛ وإذا كانت هناك فوضى فى أول الأمر، فكيف حدث أن هناك الآن نظاما فيما يظهر؛ ولماذا «يوجد» الكون.

وما زال الآباء والمدرسون فى مجتمعنا متعودين على الإجابة عن معظم هذه الأسئلة بهزة كتف، أو باستدعاء مفاهيم مطلقة غامضة، والبعض يصيبهم القلق من جراء قضايا كهذه، لأنها تكشف بصورة جد حيوية عن أوجه قصور الفهم البشرى.

على أن الشئ الكثير من الفلسفة والعلم قد دفعته تساؤلات من هذا النوع. وثمة عدد متزايد من البالغين لهم رغبة فى إلقاء أسئلة من هذا النوع، وهم أحيانا يتلقون بعض إجابات تثير الدهشة. ومع تساوى مسافة البعد بيننا وبين الذرات، وبيننا وبين النجوم، فإننا نوسع من آفاق استكشافاتنا لتحضن معا ما هو صغير جدا وما هو كبير جدا.

وفى ربيع ١٩٧٤، بما يسبق بحوالى عامين هبوط مركبة الفضاء الفيكنج على المريخ، كنت أحضر فى إنجلترا اجتماعا تحت رعاية الجمعية الملكية بلندن، لثلاثاء مسألة طريقة هى البحث عن الحياة خارج الأرض. وأثناء فترة راحة لشرب القهوة لاحظت أن اجتماعا أكبر كثيرا كان يعقد فى

قاعة مجاورة، فدخلتها من باب حب الاستطلاع. وسرعان ما تبينت أنى كنت أشهد طقسا عتيقا، حفل تنصيب الزملاء الجدد فى الجمعية الملكية، أحد أقدم المنظمات العلمية على كوكبنا. وكان فى الصف الأمامى شاب فى كرسى ذى عجلات يوقع اسمه ببطء شديد فى كتاب يحمل فى صفحاته الأولى توقيع اسحق نيوتن. وعندما انتهى فى آخر الأمر، ارتج المكان بالتحية له. فقد كان ستيفن هوكنج أسطورة حتى فى ذلك الوقت.

وهوكنج الآن أستاذ كرسى لوكاس للرياضيات فى جامعة كامبردج، وهو منصب كان يشغله نيوتن ذات مرة، وشغله فيما بعد ب. ا. م. ديراك، وهما رائدان مشهوران لما هو كبير جدا وما هو صغير جدا. وهوكنج هو خليفتهما الجدير بذلك. وهذا الكتاب، وهو أول كتب هوكنج لغير المتخصصين، فيه أنواع كثيرة من الفائدة للقارئ غير المتخصص. وكما أن الكتاب شيق بمحتوياته ذات المدى الواسع، فهو شيق بنفس القدر بما يمدنا به من لمحة عن طريقة عمل عقل المؤلف. وفى هذا الكتاب إشراقات صافية فى مجالات الفيزياء، والفلك، والكونيات، والشجاعة.

كارسل ساجان

جامعة كورنيل
إيثاكا - نيويورك

صورتنا من الكون

ذات مرة ألقى عالم مشهور (يقول البعض أنه برتراند راسل) محاضرة عامة عن علم الفلك. ووصف كيف أن الأرض تدور حول الشمس، وكيف تدور الشمس بدورها حول مركز لمجموعة هائلة من النجوم تسمى مجرتنا. وفي نهاية المحاضرة، نهضت سيدة مجوز ضئيلة في آخر القاعة وقالت: «إن ما تقوله لنا هراء. فالعالم في الحقيقة صفحة مسطحة مستقرة على ظهر سلحفاة ماردة». وابتسم العالم في تعال قبل أن يجيب: «وما الذي تقف عليه السلحفاة؟» فقالت السيدة المجوز: «إنك لبارع جدا أيها الشاب، بارع جدا. على أن الأمر كله سلاحف بطول الطريق لأسفل».

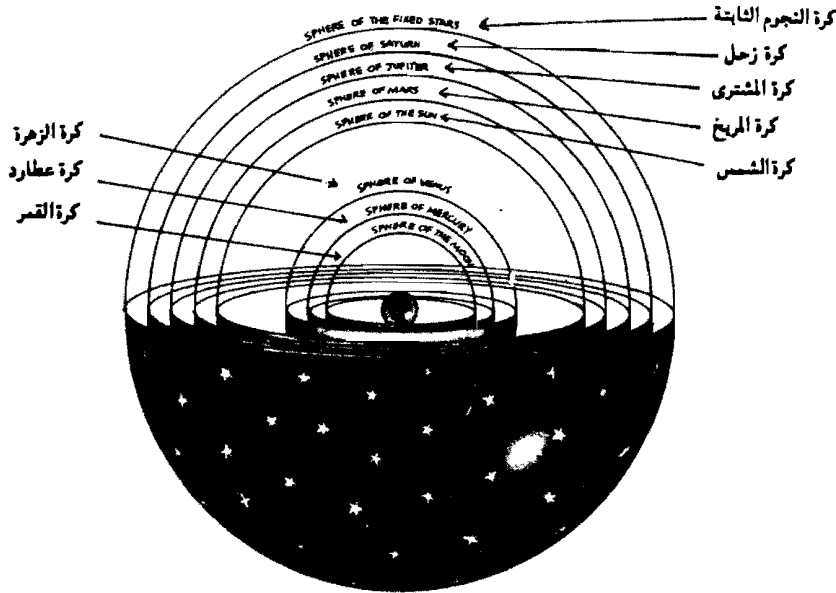
وسيجد معظم الناس أن صورة كوننا كبرج لا نهائي من السلاحف لهي مضحكة نوعا، ولكن لماذا نعتقد أن ما نعرفه هو أفضل؟ ما الذي نعرفه من الكون، وكيف نعرفه؟ من أين أتى الكون، وإلى أين يذهب؟ هل للكون بداية، وإذا كان له، فما الذي حدث «قبل» ذلك؟ ما هي طبيعة الزمان؟ هل سيصل قط إلى نهاية؟ إن الإنجازات الحديثة في الفيزياء، والتي أصبحت ممكنة في جزء منها بواسطة تقنيات جديدة خيالية، تفرض إجابات من بعض هذه الأسئلة التي ظلت قائمة زمنا طويلا.

ولعل هذه الإجابات ستبدو في يوم ما واضحة لنا وضوح دوران الأرض حول الشمس أو ربما ستبدو مضحكة مثل برج السلاحف. والزمن وحده (أيا ما يكون ذلك) هو الذي سيخبرنا بالقول الفصل.

ومعذ زمن بعيد يرجع إلى ٢٤٠ ق. م. أمكن للفيلسوف الإغريقي أرسطو أن يطرح في كتابه «عن السماوات» حجتين قويتين للاعتقاد بأن الأرض كرة مستديرة بأولى من أن تكون صفحة مسطحة. فاولا، فإنه قد لاحظ أن حالات خسوف القمر يسببها وقوع الأرض بين الشمس والقمر. وظل الأرض على القمر يكون دائما مستديرا، وهذا لا يصح إلا إذا كانت الأرض كروية. ولو كانت الأرض قرصا مسطحا، لكان ظلها مطولا وإهليلجيا، إلا إذا كان الخسوف يحدث دائما في

وقت تكون الشمس فيه تحت مركز القرص مباشرة. وثانياً، فإن الإغريق عرفوا من رحلاتهم أن النجم الشمالى يبدو عند النظر إليه فى الجنوب أكثر انخفاضا فى السماء عما يبدو فى المناطق الشمالية بكثير. (حيث أن النجم الشمالى يقع فوق القطب الشمالى، فإنه يبدو فوق الراصد مباشرة عند القطب الشمالى، ولكنه يبدو لمن يرقبه من خط الاستواء وكأنه يقع عند الأفق بالضبط). بل إن أرسطو عن طريق اختلاف الوضع الظاهرى للنجم الشمالى فى مصر واليونان ذكر تقديراً لطول محيط الأرض هو ٤٠٠,٠٠٠ أستاذ. وليس من المعروف بالضبط كم كان يبلغ طول الاستاد، ولكنه قد يكون ما يقرب من ٢٠٠ ياردة، مما يجعل تقدير أرسطو حوالى ضعف الرقم المتفق عليه حالياً. بل إن الإغريق كانت لهم حجة ثالثة عن وجوب كروية الأرض، وإلا فما هو السبب فى أن المرء يرى أولاً أشعة السفينة آتية عبر الأفق، ولا يرى جسم السفينة إلا بعد ذلك؟

وكان أرسطو يعتقد أن الأرض ثابتة وأن الشمس والقمر والكواكب والنجوم تتحرك فى أفلاك دائرية حول الأرض. وكان يؤمن بذلك لأنه أحس لأسباب خفية أن الأرض مركز الكون، وأن الحركة الدائرية هى الكمال الأقصى. وقد طور بطليموس هذه الفكرة فى القرن الثانى بعد الميلاد لتصبح نموذجاً كاملاً. فالأرض تقف فى المركز، تحيط بها ثمانى كرات تحمل القمر والشمس والنجوم



شكل ١,١

والكواكب الخمسة المعروفة وقتها، عطارد والزهرة، والمريخ، والمشتري وزحل (شكل ١، ١). والكواكب نفسها تتحرك على دوائر أصغر متصلة بالكروات المختصة بكل، وذلك حتى يمكن تفسير ما يرصد في السماء من مساراتها المعقدة نوعا. والكرة التي لأقصى الخارج تحمل ما يسمى بالنجوم الثابتة، التي تبقى دائما في نفس المواضع أحدها بالنسبة للآخر ولكنها تدور معا عبر السماء. أما ما يقع خارج الدائرة الأخيرة فلم يُجمل قط واضحا جدا، على أن من المؤكد أنه لم يكن جزءا من الكون الذي يمكن للبشر رصده.

وقد أمد نموذج بطليموس بنسق مضبوط إلى حد معقول للتنبؤ بمواقع الأجرام السماوية في السماء. على أنه حتى يمكن التنبؤ بهذه المواقع على نحو صحيح. كان على بطليموس أن يقوم بافتراض أن القمر يتبع مساراً يأتي به أحيانا على مسافة من الأرض أقرب مرتين مما في أحيان أخرى. ويعنى هذا أن القمر ينبغي أن يظهر أحيانا أكبر مرتين مما في الأحيان الأخرى! وقد تبين بطليموس هذا الخلل، إلا أن نمونجه كان رغم ذلك مقبولا على نحو عام وإن لم يكن ذلك بصورة كلية. وقد اتخذت الكنيسة المسيحية كصورة للكون تتفق مع الكتاب المقدس، لأن فيها ميزة كبرى حيث أنها تترك خارج كرة النجوم الثابتة متسعا وافرا للجنة والجحيم.

على أنه قد طرح في ١٥١٤ نموذج أبسط بواسطة قس بواندى، هو نيكولاس كوبرنيكوس. (نشر كوبرنيكوس نموذجه في أول الأمر دون توقيع وربما كان ذلك خوفا من أن تتهمه الكنيسة بالهرطقة). وكانت فكرته أن الشمس ثابتة في المركز بينما تتحرك الأرض والكواكب في أفلاك دائرية حول الشمس. وقد مر ما يقرب من قرن قبل أن تؤخذ هذه الفكرة مأخذاً جديا. وبعدها أخذ عالمان فلكيان - هما الألماني جوهانز كبلر، والإيطالي جاليليو جاليلي - في تأييد النظرية الكوبرنيكية علنا، رغم حقيقة أن الأفلاك التي تنبأت بها لم تكن تتفق تماما والأفلاك المرصودة. ثم أتت الضربة المميتة للنظرية الأرسطية / البطلمية في ١٦٠٩. ففي هذه السنة بدأ جاليليو يرصد السماء ليلا بتليسكوب تم اختراعه توها. وعندما نظر جاليليو إلى كوكب المشتري، وجد أنه مصحوب بتوابع صغيرة عديدة أو أقمار تدور من حوله. وكان هذا يدل على أنه «ليس» ينبغي أن يدور كل شيء مباشرة حول الأرض كما كان يعتقد أرسطو وبتليموس. (وبالطبع كان ما زال ممكنا وقتها الاعتقاد بأن الأرض ثابتة في مركز الكون وأن أقمار المشتري تتحرك في مسارات بالغة التعقيد حول الأرض بحيث تعطى «المظهر» بأنها تدور حول المشتري. على أن نظرية كوبرنيكوس كانت أبسط كثيرا). وفي نفس الوقت، عدل جوهانز كبلر من نظرية كوبرنيكوس، مقترحاً أن الكواكب تتحرك، لا في دوائر وإنما في شكل اهليلجى (الشكل الاهليلجى دائرة مطولة). والآن فإن التنبؤات أصبحت في النهاية متفقة مع المشاهدات.

وفيما يختص بكبلر فإن المدارات الاهليلجية كانت مجرد فرض لغرض معين، وهو فرض يكاد يكون منفرا وقتها، لأن من الواضح أن المدارات الاهليلجية أقل كمالا من الدوائر. ولكنه وقد اكتشف بما يكاد يكون صدفة أن المدارات الاهليلجية تتلاءم جيدا مع المشاهدات، فإنه لم يستطع أن يوفق بينها وبين فكرته من أن الكواكب قد جعلت تدور حول الشمس بواسطة القوى المغناطيسية. ولم يقدم التفسير إلا بعد ذلك بكثير في ١٦٨٧، عندما نشر السيراسحق نيوتن «المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية»، ولعله أهم مؤلف واحد قد نُشر قط في العلوم الفيزيائية. ونيوتن في هذا الكتاب لا يطرح وحسب نظرية عن كيفية تحرك الأجسام في المكان والزمان، ولكنه أيضا قد أنشأ الرياضيات المعقدة اللازمة لتحليل هذه التحركات. وبالإضافة، فإن نيوتن قد وضع قانونا للجاذبية الكونية، وحسب هذا القانون فإن كل جسم في الكون ينجذب لأي جسم آخر بقوة تزيد شدتها كلما زادت كتلة الأجسام وكلما زادت قربا أحدها من الآخر. وهذه القوة هي التي تسبب سقوط الأشياء للأرض. (وقصة أن نيوتن قد ألهمه سقوط تفاحة على رأسه هي في الغالب المؤكد مشكوك في صحتها. وكل ما حدث أن قاله نيوتن نفسه، هو أن فكرة الجاذبية واثته وهو جالس «في حالة تأمل» وقد صافهها سقوط تفاحة»). واستمر نيوتن ليبين أنه حسب قانونه، فإن الجاذبية تسبب حركة القمر حول الأرض في مدار اهليلجي، وتسبب أن الأرض والكواكب تتبع مسارات اهليلجية حول الشمس.

لقد تخلص نموذج كوبرنيكوس من كرات بطليموس السماوية، وتخلص معها من فكرة أن الكون له حد طبيعي، ولما كانت «النجوم الثابتة» لا تظهر تغيرا في مواقعها عدا بعض دوران عبر اسماء نتيجة أن الأرض تلف حول محورها، فقد كان من الطبيعي افتراض أن النجوم الثابتة هي أشياء مثل شمسنا ولكنها أبعد منها كثيرا.

وقد تبين نيوتن، حسب نظريته عن الجاذبية، أن النجوم ينبغي أن يجذب أحدها الآخر، وهكذا يبدو أنها لا تستطيع أن تبقى أساسا بلا حركة. ألن يحدث لها أن تهوى كلها معا عند نقطة معينة؟ وفي خطاب أرسله نيوتن ١٦٩١ إلى ريتشارد بنتلي، وهو مفكر آخر من المبرزين في زمانه، حاج نيوتن بأن هذا الأمر كان سيحدث حقا لو أن هناك فحسب عددا متناهيا من النجوم موزعا على منطقة متناهية من المكان ولكنه من الناحية الأخرى يحتاج بأنه لو كان هناك عدد لا متناه من النجوم، موزع بما يكاد يكون توزيعا متسقا على مكان لا متناه، فإن هذا الأمر لن يحدث، لأنه لن تكون لدى النجوم أي نقطة مركزية تهوى إليها.

وهذه الصجة هي مثل للعثرات التي يمكن أن تلاقيها عند الحديث عن المالا نهاية. ففي كون لا متناه، يمكن النظر لكل نقطة على أنها المركز، لأن كل نقطة سيكون على كل جانب منها عدد

لامتناهى من النجوم. والتناول الصحيح الذى لم يتم تبينه إلا بعد ذلك بكثير، هو النظر إلى الموقف المتناهى، حيث النجوم كلها تهوى للداخل أحدها فوق الآخر، ثم نسأل كيف تتغير الأمور لو أضاف المرء نجوما أكثر تتوزع خارج هذه المنطقة توزيعا متسقا على وجه التقريب. وحسب قانون نيوتن، فإن النجوم الإضافية لن تسبب مطلقا أى اختلاف فى الأمر بالنسبة للنجوم الأصلية فى المتوسط، وهكذا فإن النجوم ستتهوى للداخل بالسرعة نفسها. وفى وسعنا أن نضيف من النجوم أى قدر نشاء، ولكنها ستظل دائما تتهاوى للداخل فوق بعضها. ونحن الآن نعلم أن من المستحيل أن يكون لدينا نموذج استاتيكي لا متناهى للكون تكون الجاذبية فيه دائما فى جذب.

إنه لانعكاس شيق للمناخ العام للفكر قبل القرن العشرين أن أحدا لم يقترح أن الكون يتمدد أو ينكمش. فقد كان المقبول عامة هو أن الكون قد وجد دائما فى حال لا يتغير، أو أنه قد نشأ فى وقت متناه فى الماضى وهو على مثل ما نلاحظه الآن بدرجة أو أخرى. ولعل هذا يرجع فى جزء منه إلى نزعة الناس إلى الاعتقاد فى حقائق أبدية، كما قد يرجع إلى ما يلقونه من راحة فى الاعتقاد بأنه رغم أنهم قد يزيد بهم السن ويموتون، إلا أن الكون أبدى لا يتغير.

وحتى أولئك الذين تبينوا أن نظرية نيوتن عن الجاذبية توضح أن الكون لا يمكن أن يكون استاتيكيًا، حتى هؤلاء لم يفكروا فى افتراض أن الكون قد يكون متمددا. وبدلا من ذلك فقد حاولوا تعديل النظرية بجعل قوة التجاذب تصبح قوة تنافرية على المسافات الكبيرة جدا. ولم يكن لذلك تأثير ذى دلالة على تنبؤاتهم بتحركات الكواكب، ولكنه سمح لتوزيع لا متناهى للنجوم بأن يبقى فى حالة توازن - حيث قوى الجذب بين النجوم القريبة تتوازن بقوى التنافر من تلك النجوم الأكثر بعدا. على أننا نعتقد الآن أن توازنا كهذا سيكون غير مستقر: فلو أن النجوم فى منطقة ما أصبحت فقط أقرب هونا بعضها لبعض، فإن قوى التجاذب فيما بينها تصبح أقوى وتتغلب على قوى التنافر بحيث تستمر النجوم فى السقوط أحدها نحو الآخر. ومن الناحية الأخرى، فلو أن النجوم تباعدت قليلا أحدها عن الآخر، فإن قوى التنافر سوف تتغلب وتدفعها إلى مزيد من التباعد.

وثمة اعتراض آخر على الكون الاستاتيكي اللامتناهى يُنسب عادة إلى الفيلسوف الألماني هنريخ أولبرز، الذى كتب عن هذه النظرية فى ١٨٢٣. والحقيقة أن معاصرين شتى لنيوتن قد أثاروا المشكلة، ولم تكن مقالة أولبرز حتى هى أول مقالة تحوى حججا معقولة ضدها. على أنها كانت المقالة الأولى التى لوحظت على نطاق واسع. ووجه الصعوبة هو أنه فى الكون الاستاتيكي اللامتناهى سينتهى تقريبا كل خط للإبصار على سطح أحد النجوم. وهكذا فإن المرء ليتوقع أن السماء كلها ستكون ساطعة كالشمس، حتى فى الليل. وما يضاد حجة أولبرز هو أن الضوء من

النجوم البعيدة سيتم تعظيمه بالامتصاص بواسطة المادة التي نعرضه. على أنه لو حدث ذلك فإن هذه المادة المعترضة ستزداد سخونة في النهاية حتى تنفج ساطعة مثل الدجوم والطريقة الوحيدة لتجنب استنتاج أن سماء الليل كلها ينبغي أن تكون ساطعة مثل سطح الشمس هي افتراض أن النجوم لم تكن تسطع دائما، ولكنها قد بدأت عند زمن متناه في الماضي. وفي هذه الحالة فإن المادة الماصة ربما تكون لم تسخن بعد أو قد يكون الضوء من النجوم البعيدة لم يصل إلينا بعد. وهذا يأتي بنا إلى السؤال عما قد يكون السبب في أن النجوم قد بدأت في المكان الأول.

وبالطبع فإن بداية الكون قد نوقش أمرها قبل ذلك بزمن طويل. وحسب عدد من الكونيات المبكرة، وحسب التراث اليهودي / المسيحي، فإن الكون قد بدأ عند زمن متناه في الماضي وليس بعيدا جدا. وأحد حجج مثل هذه البداية هي الشعور بأن من الضروري أن تكون هناك «علة أولى» لتفسير وجود الكون. (إنك دائما تفسر أحد الأحداث داخل الكون بأنه قد نتج عن حدث أقدم، ولكن وجود الكون نفسه يمكن فقط تفسيره بهذه الطريقة إذا كانت له بداية ما). وثمة حجة أخرى طرحها القديس أوغسطين في كتابه «مدينة الله». وهو يبين أن المدنية في حالة تقدم وأنها نذكر من أدى هذا الصنيع أو أنشأ ذاك التكنيك. وهكذا فإن الإنسان، وربما أيضا الكون، لا يمكن أن يكون قد وجد لزمن جد طويل. ويتقبل القديس أوغسطين تاريخا لبدء الكون حسب سفر التكوين منذ ما يقرب من سنة ٥٠٠٠ ق. م. (من الشيق أن هذا ليس بعيدا عن نهاية آخر عصر جليدي، حوالي سنة ١٠,٠٠٠ ق. م.، وهو الوقت الذي يخبرنا علماء الآثار بأن المدنية بدأت حقا عنده).

ومن الناحية الأخرى، فإن أرسطو. ومعظم الفلاسفة الإغريق كانوا يؤمنون بأن الجنس البشري والعالم من حوله قد وجدا وسوف يبقيان دائما. وقد نظر القدماء بالفعل في محاجة التقدم التي وصفت أعلاه، وأجابوا عليها بقولهم أنه كان ثمة دورات من فيضانات أو كوارث أخرى كانت تنتكس مرارا بالجنس البشري ليعود إلى بدء المدنية تماما.

ومسألة إذا ما كان الكون له بداية في الزمان وإذا ما كان محدودا في المكان قد تفحصها بعد ذلك وبصورة شاملة الفيلسوف إيمانويل كانت في مؤلفه البارز (والغامض جدا) «نقد العقل الخالص»، الذي نشر في ١٧٨١. وقد سمي هذه المسائل نقائض (أي تناقضات) العقل الخالص لأنه شعر أن ثمة حججا تتساوى قوة للإيمان بدعوى أن الكون له بداية، وللإيمان بالدعوى النقيضة من أن الكون قد وجد دائما. وحجته للدعوى هي أنه لو كان الكون بلا بداية، فسيكون هناك فترة زمان لانتهائية قبل أي حدث، مما اعتبره منافيا للعقل. وحجته للدعوى النقيضة هي أنه لو كان للكون بداية، فإنه ستكون هناك فترة زمان لانتهائية قبله، وإن فلماذا ينبغي أن يبدأ الكون عند أي لحظة واحدة معينة؟ والحقيقة أن قضيتيه لكل من الدعوى ونقيضها هما في الواقع نفس المحاجة.

فكلاهما تأسس على افتراض لم ينطق به، بأن الزمان يستمر وراء للأزل سواء كان الكون قد وجد أو لم يوجد دائماً. وكما سوف نرى فإن مفهوم الزمان لا معنى له قبل بدء الكون. وقد وضع القديس أوغسطين هذا لأول مرة. فعندما سُئل: ماذا كان الله يفعل قبل خلق الكون؟ لم يجب أوغسطين بأنه: كان يعد الجحيم لمن يسألون أسئلة كهذه. وبدلاً من ذلك قال إن الزمان هو خاصة للكون الذي خلقه الله، وإن الزمان لم يكن يوجد قبل بدء الكون.

وعندما كان معظم الناس يؤمنون بكون هو في جوهره استاتيكي وغير متغير، فإن مسألة إذا كان أو لم تكن له بداية كانت في الواقع مسألة ميتافيزيقية أو لاهوتية. وكان يمكن للمرء تفسير المشاهدات تفسيراً يتساوى جودة سواء على أساس نظرية «أن الكون قد وجد دائماً أو نظرية أنه قد بدأ حركته في وقت ما متناهِ على نحو يجعله يبدو كأنه قد وجد دائماً. إلا أن إدوين هابل أجرى في ١٩٢٩ مشاهدة تعد علامة طريق هي أنك حينما وجهت بصرك، تجد المجرات البعيدة تتحرك بسرعة بعيداً عنا. وبكلمات أخرى فإن الكون يتمدد. ويعنى هذا أن الأشياء كانت في الأوقات السالفة أكثر اقتراباً معنا. والحقيقة أنه يبدو أنه كان ثمة وقت منذ حوالي عشرة أو عشرين ألف مليون سنة، حيث كانت الأشياء كلها في نفس المكان بالضبط، وبالتالي فإن كثافة الكون وقتها كانت لامتناهية. وهذا الاكتشاف هو الذي أتى في النهاية بمسألة بداية الكون إلى دنيا العلم.

وتفترض مشاهدات هابل أنه كان ثمة وقت يسمى الانفجار الكبير big bang، حيث كان الكون صغيراً بما لا نهاية لصغره وكثيفاً كثافة لا متناهية. وتحت ظروف كهذه تنهار كل قوانين العلم، وبالتالي تنهار كل قدرة على التنبؤ بالمستقبل. ولو كان ثمة أحداث مبكرة قبل ذلك الوقت، فإنها إن لم يكن لا يمكنها أن تؤثر فيما يحدث في الوقت الحالي. ووجودها هو مما يمكن تجاهله لأنه لن يكون له أي نتائج ذات مشاهدات. ويمكن للمرء أن يقول إن الزمان له بداية عند الانفجار الكبير، بمعنى أن الأزمنة السابقة عليه هي ببساطة مما لا يمكن أن يعرف. وينبغي التأكيد على أن بداية الزمان هذه تختلف تماماً عن تلك البدايات التي نظرناها فيما سبق. ففي كون غير متغير تكون بداية الزمان شيئاً يجب أن يفرض من خارج الكون؛ وليس من ضرورة فيزيائية لبداية ما. ويمكن للمرء أن يتصور أن الكون قد خلق بالمعنى الحرفي في أي وقت في الماضي. ومن الناحية الأخرى، فإذا كان الكون يتمدد، فإنه قد تكون ثمة علل فيزيائية للسبب في أنه يجب أن تكون ثمة بداية. ولا يزال المرء يستطيع أن يتصور أن الكون قد خلق لحظة الانفجار الكبير، أو حتى بعدها بطريقة هي بالضبط تجعله يبدو كما لو كان ثمة انفجار كبير، ولكن سيكون مما لا معنى له افتراض أن الكون قد خلق «قبل» الانفجار الكبير. والخلق لا يحول دونه تعدد الكون.

وحتى نتحدث عن طبيعة الكون ونناقش أسئلة مثل السؤال عما إذا كان له بداية أو نهاية،

فإنه ينبغي أن يكون واضحاً لك ما تكونه النظرية العلمية. وسوف أتخذ وجهة النظر ذات التفكير البسيط وهي أن النظرية هي وحسب نموذج الكون، أو لجزء محدود منه، ومجموعة من القواعد التي تربط الكميات التي في النموذج بالملاحظات التي نجريها. وهي لا تتواجد إلا في عقولنا وليس لها أى واقع آخر (أيا ما كان ما يعنى ذلك).

والنظرية تكون نظرية جيدة إذا كانت تفي بمطلبين اثنين: فهي يجب أن توصف توصيفاً مضبوطاً طائفة كثيرة من الملاحظات على أساس من نموذج يحوى فحسب عناصر تعسفية معدودة، ويجب أن تصنع تنبؤات محددة عن نتائج الملاحظات في المستقبل. وكمثل فإن نظرية أرسطو من أن كل شئ قد صنع من أربعة عناصر، الأرض، والهواء، والنار، والماء، كانت من البساطة بما يكفى لتأهيلها، ولكنها لم تصنع أى تنبؤات محددة. ومن الناحية الأخرى فإن نظرية نيوتن عن الجاذبية تأسست حتى على نموذج أكثر ببساطة، حيث الأجسام يجذب بعضها الآخر بقوة تتناسب مع كم يسمى كتلتها وتتناسب عكسياً مع مربع المسافة فيما بينها. إلا أنها تتنبأ بتحركات الشمس، والقمر، والكواكب بدرجة عالية من الدقة.

وأى نظرية فيزيائية هي دائماً مؤقتة، بمعنى أنها فرض وحسب: فأنت لا تستطيع قط أن تبرهن عليها. ومهما بلغت كثرة مرات اتفاق نتائج التجارب مع نظرية ما، فإنك لا تستطيع قط أن تتيقن من أنه في المرة التالية لن تتناقض النتيجة مع النظرية. ومن الناحية الأخرى فإنك تستطيع تنفيذ إحدى النظريات بأن تعثر حتى على مشاهدة واحدة تتعارض وتنبؤات النظرية. وكما أكد فيلسوف العلم كارل بوبر، فإن النظرية الجيدة تتميز بحقيقة أنها تصنع عدداً من التنبؤات يمكن من حيث المبدأ تنفيذها أو دحضها بالملاحظة. وفي كل مرة يشاهد فيها أن تجارب جديدة تتفق مع التنبؤات فإن النظرية تبقى، وتزد ثقتنا فيها؛ ولكن لو حدث أن وجدت قط مشاهدة جديدة متعارضة، يكون علينا أن ننبد النظرية أو نعدلها. أو على الأقل فهذه ما يفترض أن يحدث، على أنك تستطيع دائماً أن تتشكك في كفاءة الشخص الذي أجرى الملاحظة.

أما في التطبيق فما يحدث غالباً هو أن توضع نظرية جديدة هي في الواقع امتداد للنظرية السابقة. وكمثل فإن الملاحظات الدقيقة جداً للكوكب عطارد كشفت عن اختلاف بسيط بين تحركه وما تنبأت به نظرية نيوتن عن الجاذبية. وقد تنبأت نظرية أينشتاين للنسبية العامة بتحريك مختلفاً بسيطاً عن نظرية نيوتن. وحقيقة أن تنبؤات أينشتاين توافقت مع ما يتم رؤيته، بينما لم تتوافق تنبؤات نيوتن، كانت أحد الإثباتات الحاسمة للنظرية الجديدة. على أننا ما زلنا نستخدم نظرية نيوتن في كل الأغراض العملية لأن الفارق بين تنبؤاتها وتنبؤات النسبية العامة هو فارق صغير جداً في المواقف التي نتناولها عادة. (ونظرية نيوتن أيضاً لها ميزتها الكبرى في أن العمل

بها أبسط كثيرا من العمل بنظرية إينشتاين!).

والهدف النهائي للعلم هو أن يمد بنظرية وحيدة تصف الكون كله. على أن التناول الذى يتبعه معظم العلماء بالفعل هو فصل المشكلة إلى جزئين. فأولا، هناك القوانين التى تخبرنا بطريقة تغير الكون بالزمان. (إذا عرفنا ما يبدو عليه الكون فى أى وقت معين، تخبرنا هذه القوانين بما سوف يبدو عليه فى أى وقت بعده). وثانيا، فهناك مسألة الحال المبدئى للكون. وبعض الناس يشعرون أن العلم ينبغى أن يختص بالجزء الأول وحسب؛ فهم يعتبرون مسألة الموقف المبدئى من مسائل الميتافيزيقا أو الدين. وسيقولون إن الله يستطيع بقدرته بدء الكون بأى طريقة يشاء. ومع هذا فإن الله أيضا كان يستطيع أن يجعله ينشأ على منوال تعسفى تماما. ولكنه كما يظهر قد اختار أن يجعله يتطور على نحو جد منتظم حسب قوانين معينة. وهكذا فإنه مما يساوى ذلك عقلا افتراض أن هناك أيضا قوانين تحكم الحال المبدئى.

ويثبت فى النهاية أن من الصعب جدا وضع نظرية توصف الكون كله دفعة واحدة. وبدلا من ذلك، فإننا نقسم المشكلة إلى أجزاء ونبتكر عددا من النظريات الجزئية. وكل من هذه النظريات الجزئية يوصف ويتنبأ بنوع محدود من المشاهدات، مهملا تأثير الكميات الأخرى، أو ممثلا إياها بمجموعات بسيطة من الأرقام. وقد يكون هذا التناول خطأ بالكامل. فإذا كان كل شئ فى الكون يعتمد اعتمادا جوهريا على كل شئ آخر، فقد يكون من المستحيل الاقتراب من حل تام بأن تُستقصى أجزاء المشكلة وهى منفصلة. ومع كل، فهذه بالتأكيد هى الطريقة التى صنعنا بها تقدمنا فيما مضى. والمثل الكلاسيكى مرة أخرى هو نظرية نيوتن عن الجاذبية، التى تخبرنا بأن قوة التجاذب بين جسمين تعتمد فحسب على رقم واحد مرتبط بكل جسم، هو كتلته، ولكنها فيما عدا ذلك لا تعتمد على ما تُصنع منه الأجسام. وهكذا فإن المرة لا يحتاج لنظرية عن بنية وتكوين الشمس والكواكب حتى يحسب أفلاكها.

واليوم فإن العلماء يوصفون الكون فى حدود نظريتين جزئيتين أساسيتين - نظرية النسبية العامة وميكانيكا الكم. فهما الإنجازان الثقافيان العظيمان للنصف الأول من هذا القرن. ونظرية النسبية العامة تصف قوة الجاذبية وبنية الكون بالمقياس الكبير، أى البنية بمقاييس تتراوح من عدة أميال فحسب حتى ما يصل كبره إلى مليون مليون مليون (واحد يتبعه أربعة وعشرون صفرا) من الأميال، أى حجم الكون القابل للرصد. وميكانيكا الكم من الجانب الآخر تتناول ظواهر بمقاييس بالغة الصغر، مثل جزء من المليون من جزء من المليون من البوصة. على أنه لسوء الحظ، من المعروف أن هاتين النظريتين لا تتوافق إحداهما مع الأخرى - فلا يمكن أن تكون كلاهما صحيحة. وإحدى المحاولات الرئيسية التى تبذل فى الفيزياء اليوم، وهى أيضا البحث الرئيسى فى

الكتاب، هي البحث عن نظرية جديدة تدمج النظريتين معا - نظرية كم للجاذبية. وليس لدينا بعد نظرية كهذه، وربما كنا لا نزال بعيدين عن الحصول عليها، ولكننا نعرف بالفعل من قبل الكثير من الخواص التي ينبغي أن تكون لها. وسوف نرى في الفصول القادمة، أننا نعرف من قبل قدرا له اعتباره من التنبؤات التي ينبغي أن تصنعها نظرية كم للجاذبية.

والآن فلو أنك تؤمن بأن الكون ليس عشوائيا، وإنما تحكمه قوانين محددة، فإن عليك في النهاية أن تضم النظريات الجزئية في نظرية كاملة موحدة ستوصف كل شيء في الكون. على أن ثمة مفارقة أساسية في البحث عن نظرية كاملة موحدة هكذا. فالأفكار عن النظريات العلمية التي أوجزناها أعلاه تفترض أننا كائنات عقلانية لنا حرية مشاهدة الكون كما نريد وأن نستنبط استنباطات منطقية مما نراه. وفي مخطط كهذا يكون من المعقول أن نفترض أننا ربما نتقدم دائما مقترين بأكثر من القوانين التي تحكم كوننا. ولكن لو أن هناك حقا نظرية كاملة موحدة، فإنها فيما يفترض أيضا سوف تحتم أفعالنا. وهكذا فإن النظرية نفسها ستحتم حصيلة بحثنا عنها! ولماذا ينبغي أن تحتم أننا سنصل إلى الاستنتاجات الصحيحة من برهاننا؟ ألا يمكن بما يساوي ذلك أنها ستحتم وصولنا إلى الاستنتاج الخطأ؟ أو إلى لا استنتاج على الإطلاق؟

إن الإجابة الوحيدة التي نستطيع أن أدلى بها عن هذه المشكلة تتأسس على مبدأ الانتخاب الطبيعي. والفكرة هي أنه في أي مجموعة من الكائنات التي تتكاثر ناسخة لذاتها، سيكون ثمة تباينات في المادة الوراثية وفي النشأة عند الأفراد المختلفين. وهذه الاختلافات تعنى أن بعض الأفراد هم أقدر عن الآخرين في استنباط النتائج الصحيحة عن العالم من حولهم وفي أن يتصرفوا حسب ذلك. وهؤلاء الأفراد يزداد احتمال بقاؤهم وتكاثرهم؛ وهكذا فإن نمط سلوكهم وفكرهم هو الذي سيصل إلى الهيمنة. ومن المؤكد أنه كان من الحقيقي في الماضي أن ما نسميه الذكاء هو والكشف العلمي قد أضفيا ميزة بالنسبة للبقاء. على أنه ليس من الواضح إذا كان الحال ما زال كذلك: فكشوفنا العلمية قد تؤدي إلى دمارنا كلنا تماما، وحتى لو لم تفعل، فإن النظرية الكاملة الموحدة لن تجعل ثمة فارقا كبيرا بالنسبة لفرصتنا في البقاء. وعلى كل، بافتراض أن الكون قد تطور بأسلوب منتظم، فإن لنا أن نتوقع أن القدرات العقلية التي أتاحها لنا الانتخاب الطبيعي ستكون أيضا صالحة في بحثنا عن نظرية كاملة موحدة، وهكذا فإنها لن تؤدي بنا إلى الاستنتاجات الخطأ.

ولما كانت النظريات الجزئية التي لدينا من قبل كافية لصنع تنبؤات مضبوطة في كل المواقف عدا أقصاها تطرفا، فإن البحث عن نظرية نهائية للكون يبدو مما يصعب تبريره على أسس عملية. (على أنه مما يستحق الذكر أنه كان من الممكن استخدام حجج مشابهة ضد كل من

النسبية وميكانيكا الكم، وهاتان النظريتان قد أعطيتا لنا كلا من الطاقة النووية وثورة الالكترونيات الدقيقة!) إن اكتشاف نظرية كاملة موحدة هو إذن مما قد لا يساعد على بقاء نوعنا، بل إنه قد لا يؤثر في أسلوب حياتنا. على أن الناس دائما منذ فجر المدنية لم يقنعوا بأن يروا الأحداث على أنها غير مترابطة وغير قابلة للتفسير. فظلوا يلتمسون فهم النظام الأساسى للعالم. واليوم فإننا ما زلنا نتوق لمعرفة لماذا نحن هنا ومن أين أتينا. إن الرغبة الإنسانية العميقة فى المعرفة لهى مبرر كافٍ لبحثنا المتصل. وهدفنا لا أقل من توصيف كامل للكون الذى نعيش فيه.



المكان والزمان

ترجع أفكارنا الحالية عن حركة الأجسام إلى جاليليو ونيوتن. وكان الناس قبلهما يصدقون أرسطو، الذي قال إن الحالة الطبيعية لجسم ما هي أن يكون ساكنا، وأنه لا يتحرك إلا إذا دفعته قوة أو دافع. وبالتالي فإن الجسم الثقيل ينبغي أن يسقط بأسرع من الجسم الخفيف، لأنه سيكون له شد أكبر إلى الأرض.

والتراث الأرسطي يؤمن أيضا بأن المرء يستطيع أن يستنبط كل القوانين التي تحكم الكون بالفكر الصرف: فليس من الضروري التحقق بواسطة المشاهدة. وهكذا لم يهتم أحد حتى زمن جاليليو بأن يرى ما إذا كانت الأجساد ذات الوزن المختلف تسقط فعلا في الحقيقة على سرعات مختلفة. ويقال أن جاليليو برهن على زيف اعتقاد أرسطو بأن أسقط أثقالا من برج بيزة المائل. ويكاد يكون من المؤكد أن هذه القصة غير حقيقية، ولكن جاليليو قام فعلا بصنع شيء مماثل: فقد دحرج كرات من أوزان مختلفة أسفل منحدر ممهّد. والوضع يشبه الأجسام الثقيلة إذ تسقط: أسيا، ولكنه أسهل في ملاحظته لأن السرعات تكون أقل. وقد بينت قياسات جاليليو أن كل جسم قد زادت سرعته بنفس المعدل، بصرف النظر عن وزنه. فمثلا، يمكنك أن تطلق كرة على منحدر ينحدر مترا واحدا لكل عشرة أمتار تقطعها، وستتحرك الكرة أسفل المنحدر بسرعة تقرب من متر في الثانية بعد ثانية واحدة، ومترين في الثانية بعد ثانيتين، وهلم جرا، مهما كان ثقل الكرة. وبالطبع فإن ثقلا من الرصاص سيكون سقوطه أسرع من الريشة، ولكن السبب في هذا هو فقط أن مقاومة الهواء تقلل من سرعة الريشة. ولو أسقط المرء جسمين ليس لهما مقاومة كبيرة للهواء، مثل تقلين مختلفين من الرصاص، فإنهما يسقطان بنفس المعدل.

وقد استخدم نيوتن قياسات جاليليو كأساس لقوانينه عن الحركة. وفي تجارب جاليليو، إذ يتدحرج أحد الأجسام أسفل المنحدر فإنه يكون دائما تحت مفعول نفس القوة (ثقله)، وتأثير ذلك

هو أن تتزايد سرعته بثبات. ويبين هذا أن التأثير الحقيقي لقوة ما هو أنها دائما تغير من سرعة الجسم، بدلا من أن تحركه فحسب، كما كان الاعتقاد من قبل. ويعنى هذا أيضا أنه طالما كان أحد الأجسام غير واقع تحت مفعول أى قوة، فإنه سيظل يتحرك فى خط مستقيم بنفس السرعة. وقد تم ذكر هذه الفكرة لأول مرة بوضوح فى مؤلف نيوتن «المبادئ الرياضية» الذى نشر فى ١٦٨٧، وتُعرف بقانون نيوتن الأول. ويعطى لنا قانون نيوتن الثانى ما يحدث لأحد الأجسام عندما تُحدث فعلا إحدى القوى مفعولها عليه. ويقرر هذا أن الجسم ستزيد عجلته، أو تتغير سرعته، بمعدل يتناسب مع القوة. (وكمثل، فإن العجلة يتضاعف قدرها عندما يتضاعف قدر القوة). والعجلة تقل أيضا بزيادة كتلة الجسم (أو كمية مادته). (عندما تعمل نفس القوة على جسم له ضعف الكتلة سينتج عن ذلك تنصيف العجلة). ومن الأمثلة المألوفة ما تمد به السيارة : فكلما زادت قوة المحرك، زادت العجلة، ولكن كلما ثقلت السيارة، قلت عجلة نفس المحرك.

وبالإضافة إلى قوانينه عن الحركة، اكتشف نيوتن قانونا يصف قوة الجاذبية، يقرر أن كل جسم يجذب كل جسم آخر بقوة تتناسب مع كتلة كل جسم. وهكذا فإن القوة التى بين جسمين ستزيد إلى الضعف لو أن أحد الجسمين (الجسم أ مثلا) تضاعفت كتلته. وهذا ما يمكن أن نتوقعه لأن المرء يستطيع أن يتصور الجسم الجديد أ وكأنه مصنوع من جسمين كل بالكتلة الأصلية. وكل منهما سوف يجذب الجسم ب بالقوة الأصلية. وهكذا فإن القوة الكلية بين أ و ب تصبح ضعف القوة الأصلية. وإذا كان لأحد الجسمين مثلا ضعف الكتلة، وللثانى ثلاثة أضعاف الكتلة فإن القوة تصبح أشد بستة أضعاف. ويستطيع المرء الآن أن يعرف لماذا تسقط كل الأجسام بنفس المعدل : فالجسم ذى الوزن المضاعف سيكون شده لأسفل بضعف قوة الجاذبية، ولكنه أيضا له ضعف الكتلة. وحسب قانون نيوتن الثانى، فإن هذين المفعولين يلغى أحدهما الآخر بالضبط؛ وهكذا فإن العجلة تكون هى نفسها فى كل الحالات.

وقانون نيوتن للجاذبية يخبرنا أيضا أنه كلما تباعدت الأجسام، صغرت القوة. ويقول قانون نيوتن للجاذبية إن شد جاذبية أحد النجوم يكون بالضبط ربع شد نجم مماثل على نصف المسافة. ويتنبأ هذا القانون بأفلاك الأرض، والقمر، والكواكب بدقة عظيمة. ولو كان القانون هو أن شد جاذبية أحد النجوم يقل بالمسافة بسرعة أكبر، فإن أفلاك الكواكب لن تكون اهليلجية، وإنما النجوم البعيدة ستتقلب على قوى الجاذبية من الأرض.

والفارق الكبير بين أفكار أرسطو وأفكار جاليليو ونيوتن هو أن أرسطو كان يؤمن بحال مفضل من السكون، يتخذه أى جسم ما دام لا تدفعه قوة أو دافع. وكان بالذات يعتقد أن الأرض

ساكنة. على أنه يترتب على قوانين نيوتن أن ليس ثمة معيار وحيد للسكون. فالمرء يستطيع أن يقول بما يتساوى في صحته، إن الجسم أ كان ساكنا بينما كان الجسم ب يتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة للجسم أ، أو إن الجسم ب كان ساكنا بينما كان أ يتحرك. وكمثل، لو وضعنا جانبا للحظة دوران الأرض وفلكها حول الشمس، فإن المرء يستطيع القول بأن الأرض كانت ساكنة بينما ثمة قطار الأرض وفلكها حول الشمس، فإن المرء يستطيع القول بأن الأرض كانت ساكنة بينما ثمة قطار فوقها يتحرك شمالا بسرعة تسعين ميلا في الساعة، أو أن القطار كان ساكنا بينما الأرض تتحرك كل قوانين نيوتن تظل صحيحة. وكمثل، لو لعبنا بكرة تنس الطاولة على القطار، سيجد المرء أن الكرة تخضع لقوانين نيوتن مثل كرة على مائدة بجوار القضبان. وهكذا فليس من وسيلة لمعرفة ما إذا كان أى من القطار أو الأرض هو الذى يتحرك.

وعدم وجود معيار مطلق للسكون يعنى أن المرء لا يستطيع أن يحدد إذا كان حدثان قد وقعا في أوقات مختلفة هما معا حدث في نفس الموضع من المكان. وكمثل، هب أن كرة تنس الطاولة على القطار قد نطت مباشرة لأعلى وأسفل، لهرتطم بالنضد مرتين على نفس النقطة بفارق من ثانية واحدة. سيبدو للشخص الذى على القضبان أن النطتين قد وقعتا بما يفصلهما بأربعة أمتار، لأن القطار سيكون قد تحرك هذه المسافة على القضبان بين النطتين. وعدم وجود سكون مطلق يعنى إذن أن المرء لا يستطيع أن يعطى لأحد الأحداث موقعا مطلقا فى المكان، كما كان أرسطو يعتقد. ومواضع الأحداث والمسافات فيما بينها تختلف بالنسبة للشخص الذى على القطار والشخص الذى على القضبان، وليس من سبب لأن نفضل مواضع شخص ما على مواضع الآخرين.

وقد انزعج نيوتن للغاية من هذا الغياب للموضع المطلق، أو المكان المطلق كما كان يسمى، لأن هذا لا يتفق وفكرته عن المطلق. والحقيقة أنه رفض تقبل غياب المكان المطلق رغم أن هذا هو ما تدل عليه قوانينه. وقد انتقد أناس كثيرون اعتقاده هذا غير المنطقي، وعلى وجه الخصوص فقد انتقده الأسقف بركلي، وهو فيلسوف كان يؤمن بأن الأشياء المادية هي المكان والزمان كلها توهم. وعندما نُكر للدكتور جونسون الشهير رأى بركلي، فإنه صاح قائلا: «إني أحضه هكذا!» وداس بأصبع قدمه على حصاة كبيرة.

وقد آمن كل من أرسطو ونيوتن بالزمان المطلق. أى أنهما آمنا بأن المرء يستطيع دون أى ليس أن يقيس فترة الزمن بين حدثين. وأن هذا الزمن سيكون هو نفسه أيا كان من يقيسه، بشرط أن يستخدموا ساعات جيدة. والزمان هو بالكلية منفصل ومستقل عن المكان. وهذا ما سيأخذه

معظم الناس على أنه رأى الحس المشترك. على أنه يتوجب علينا أن نغير أفكارنا هذه عن المكان والزمان. ورغم أن مفاهيم حسنا المشترك تصلح في الظاهر للعمل عندما نتناول أشياء من مثل التفاح أو الكواكب التي تتحرك بسرعة بطيئة نسبيا، إلا أنها لا تصلح للعمل بالنسبة لأشياء تتحرك بسرعة الضوء أو ما يقرب منها.

وحقيقة أن الضوء يتحرك بسرعة متناهية وإن كانت سريعة جدا، قد تم اكتشافها في ١٦٧٦ بواسطة الفلكي الدنمركي أول كريستنسن رومير. وقد لاحظ أن الأوقات التي يبدو فيها أن أقمار المشتري تمر من ورائه لم تكن موزعة على فترات متساوية، كما يتوقع المرء لو كانت الأقمار تنور حول المشتري بمعدل ثابت. ولما كانت الأرض والمشتري يدوران حول الشمس، فإن المسافة بينهما تتغير. ولاحظ رومير أن خسوفات أقمار المشتري تظهر متأخرة أكثر كلما ابتعدنا عن المشتري. وحاج بأن سبب ذلك هو أن الضوء من هذه الأقمار يستغرق زمنا أطول ليصلنا عندما نكون على مسافة أبعد. على أن قياساته للتباين في مسافة بعد الأرض عن المشتري لم تكن بالدقيقة جدا، وهكذا أيضا فإن القيمة التي حددها لسرعة الضوء وهي ١٤٠,٠٠٠ ميل في الثانية لم تكن دقيقة جدا بالمقارنة بالقيمة الحديثة وهي ١٨٦,٠٠٠ ميل في الثانية. ورغم هذا، فإن انجاز رومير كان رائعا، ليس فقط في إثبات أن الضوء ينتقل بسرعة متناهية، وإنما أيضا في قياس تلك السرعة - وحيث قد تأتى ذلك كما حدث قبل أن ينشر نيوتن «المبادئ الرياضية» بإحدى عشرة سنة.

ولم تظهر النظرية الملائمة لانتشار الضوء حتى عام ١٨٦٥ عندما نجح الفيزيائي البريطاني جيمس كلارك ماكسويل في توحيد النظريات الجزئية التي كانت تستخدم حتى ذلك الوقت في توصيف قوى الكهرباء والمغناطيسية. وتنبأت معادلات ماكسويل بأنه يمكن أن توجد اضطرابات تشبه الموجات في المجال الكهرومغناطى المشترك، وأن هذه سوف تنتقل بسرعة ثابتة، مثل التموجات في بركة. وعندما تكون أطوال هذه الموجات (أي المسافة بين ذروة موجة والذروة التالية) مترا أو أكثر، فإنها ما نسميه الآن موجات الراديو. والموجات الأقصر تسمى ميكرويف (عدة سنتيمترات) أو تحت الحمراء (أكثر من جزء من العشرة آلاف من السنتيمتر). والضوء المرئى له طول موجة يصل فقط إلى ما بين أربعين وثمانين جزء من المليون من السنتيمتر. بل والموجات ذات الطول الأصغر تعرف بفوق البنفسجية، وأشعة إكس، وأشعة جاما.

وتنبأت نظرية ماكسويل بأن موجات الراديو أو أشعة الضوء ينبغي أن تنتقل بسرعة معينة ثابتة. ولكن نظرية نيوتن كانت قد تخلصت من فكرة السكون المطلق، وهكذا فإذا كان يُفترض أن

الضوء ينتقل بسرعة ثابتة، فلا بد للمرء أن يذكر ما هو الشيء الذي تقاس هذه السرعة الثابتة بالنسبة إليه. وهكذا تم اقتراح أن ثمة مادة تسمى «الأثير» موجودة في كل مكان، حتى في الفضاء «الخاوي». وينبغي أن موجات الضوء تنتقل من خلال الأثير مثلما تنتقل موجات الصوت من خلال الهواء، وإذن فينبغي أن تكون سرعتها منسوبة للأثير. والراصدون المختلفون، الذين يتحركون حركة منسوبة للأثير، سوف يرون الضوء أتيا تجاههم بسرعات مختلفة، ولكن سرعة الضوء بالنسبة للأثير ستبقى ثابتة. وبالأذات، فإنه عندما تتحرك الأرض من خلال الأثير في مدارها حول الشمس، فإن سرعة الضوء التي تقاس في اتجاه حركة الأرض خلال الأثير (عندما نتحرك في اتجاه مصدر الضوء) ينبغي أن تكون أعلى من سرعة الضوء وهو في زاوية قائمة على تلك الحركة (عندما لا نتحرك نحو مصدر الضوء). وفي ١٨٨٧ أجرى ألبرت ميكلسون (الذي أصبح فيما بعد أول أمريكي يتلقى جائزة نوبل في الفيزياء) هو وإيوارد مورلي تجربة ناجحة جدا في مدرسة كيس للعلم التطبيق في كليفلند. فقد قارنا بين سرعة الضوء في اتجاه حركة الأرض وسرعته وهو في زاوية قائمة على حركة الأرض. ولدهشتهم الكبرى، وجدا أنهما متماثلتان بالضبط!

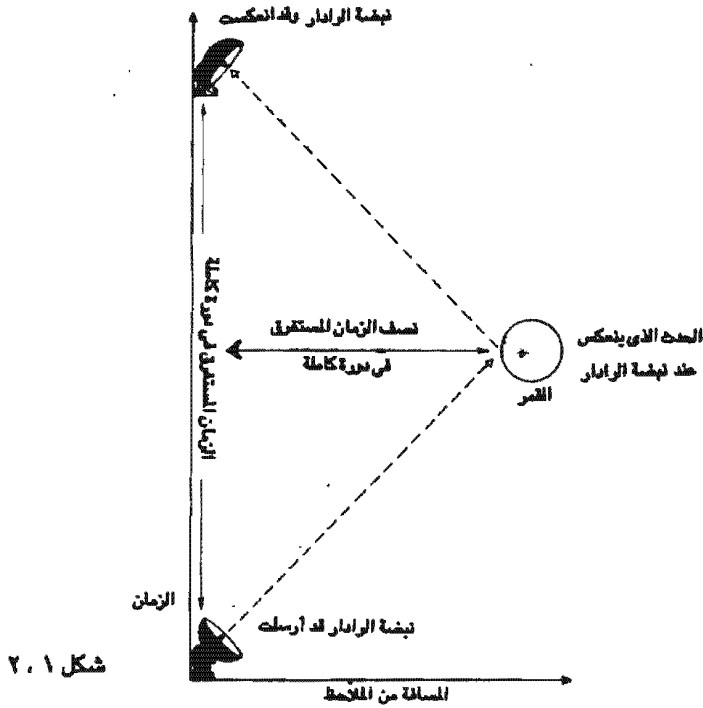
كان ثمة محاولات عديدة بين ١٨٨٧ و ١٩٠٥، أبرزها محاولة الفيزيائي الهولندي هندريك لورنتز، لتفسير نتيجة تجربة ميكلسون - مورلي بلغة من أشياء تنكمش وساعات تبطئ عندما تتحرك خلال الأثير. على أنه قد نشرت ورقة بحث شهيرة في ١٩٠٥ لألبرت أينشتاين، الذي كان حتى ذلك الوقت كاتب غير معروف في مكتب سويسري للبراءات، وفيها يبين أن فكرة الأثير بأسرها غير ضرورية، بشرط أن يكون المرء على استعداد لنيل فكرة الزمان المطلق. وبعدها بعدة أسابيع أبدى أحد الرياضيين الفرنسيين المبرزين، وهو هنري بوانكاريه، رأيا مماثلا. وكانت حجج أينشتاين أقرب إلى الفيزياء من حجج بوانكاريه، الذي كان ينظر إلى هذه المشكلة على أنها رياضية. وعادة يُنسب الفضل في النظرية الجديدة إلى أينشتاين، على أن بوانكاريه يُذكر على أن اسمه يرتبط بجزء مهم منها.

والفرض الأساسي لنظرية النسبية، كما سميت، هو أن قوانين العلم ينبغي أن تكون متماثلة بالنسبة لكل القائمين بالملاحظة الذين يتحركون بحرية، بصرف النظر عن سرعتهم، ويصدق هذا على قوانين نيوتن للحركة، ولكن الفكرة قد وسعت الآن لتشمل نظرية مكسويل وسرعة الضوء: فينبغي أن يقيس كل الملاحظين نفس سرعة الضوء، بصرف النظر عن سرعة تحركهم. ولهذه الفكرة البسيطة بعض نتائج ملحوظة. ولعل أشهرها هو تكافؤ الكتلة والطاقة، كما جمعه أينشتاين في

معادلتها المشهورة $E = mc^2$ (حيث E هي الطاقة energy، و m هي الكتلة mass، و c هي سرعة الضوء)، وكذلك هناك القانون بأن لا شئ ينتقل بأسرع من سرعة الضوء. وبسبب تكافؤ الطاقة والكتلة، فإن الطاقة التي تكون لأحد الأشياء بسبب حركته سوف تضيف إلى كتلته. وبكلمات أخرى فإنها ستجعل من الأصعب زيادة سرعته. وهذا التأثير لا يكون له دلالة حقا، إلا بالنسبة للأشياء التي تتحرك في سرعات قريبة من سرعة الضوء. وكمثل فإنه عند سرعة تبلغ ١٠ في المائة من سرعة الضوء تزيد كتلة الشئ بما هو فقط أكثر من الطبيعي بـ ٠,٥ في المائة، بينما عند سرعة ٩٠ في المائة من سرعة الضوء ستكون الكتلة أكثر من ضعف كتلته الطبيعية. وإذا يقترب الشئ من سرعة الضوء، فإن كتلته تتزايد دائما بسرعة أكبر، وهكذا فإنه يستنفد المزيد والمزيد من الطاقة حتى يزيد سرعته بأكثر. والحقيقة أنه لا يستطيع قط أن يصل إلى سرعة الضوء، لأن كتلته ستصبح عندها لا متناهية، وحسب تكافؤ الكتلة والطاقة، فإنه سيستلزم قدرا لا متناهيا من الطاقة ليصل إلى ذلك. ولهذا السبب فإن أى شئ طبيعي يكون حسب النسبية مقيدا للأبد بأن يتحرك بسرعة أقل من سرعة الضوء. والضوء وحده، أو الموجات الأخرى، التي ليس لها كتلة ذاتية، هو الذي يستطيع أن يتحرك بسرعة الضوء.

وإحدى نتائج النسبية التي تساوى ذلك روعة، هي الطريقة التي نُورت بها أفكارنا عن المكان والزمان. ففي نظرية نيوتن، لو أرسلت نبضة ضوء من مكان لآخر، فإن الملاحظين المختلفين سيتفقون على الوقت الذي استغرقته الرحلة (حيث أن الزمان مطلق)، ولكنهم لن يتفقوا دائما على مدى المسافة التي تحركها الضوء (حيث أن المكان ليس مطلقا). ولما كانت سرعة الضوء هي وحسب المسافة التي تحركها مقسومة على الزمان الذي استغرقه، فإن الملاحظين المختلفين سيقيسون سرعات مختلفة للضوء. أما في النسبية من الجانب الآخر، فإن كل الملاحظين «يجب» أن يتفقوا على قدر سرعة حركة الضوء. على أنهم ما زالوا لا يتفقون على المسافة التي تحركها الضوء، وهكذا فإنهم إذن يجب أن يختلفوا الآن أيضا على الوقت الذي يستغرقه. (الوقت المستغرق هو المسافة التي تحركها الضوء - والتي لا يتفق عليها الملاحظون - مقسومة على سرعة الضوء - التي يتفق عليها الملاحظون فعلا). وبكلمات أخرى، فإن نظرية النسبية وضعت النهاية لفكرة الزمان المطلق! وبدا أن كل ملاحظ يجب أن يكون لديه قياسه الخاص للزمان، كما تسجله الساعة التي يحملها معه، وأن الساعات المتماثلة التي يحملها ملاحظون مختلفون ليست بالضرورة متفقة.

ويستطيع كل ملاحظ أن يستخدم الرادار ليقول أين ومتى وقع الحدث، وذلك بأن يرسل



شكل ٢، ١ يقاس الزمان عموديا، ويقاس بعد المسافة عن الملاحظ أفقيا. ومسار الملاحظ في المكان والزمان يبينه الخط الرأسى على اليسار. ومسارات أشعة الضوء إلى ومن الحدث هي الخطوط المائلة.

نبضة من موجات الضوء أو الراديو. وينعكس جزء من النبضة عائدا من الحدث ويقاس الملاحظ الزمن الذي يتلقى عنده الصدى. ويقال بعدها أن زمن الحدث هو الوقت الذي في المنتصف بين زمن إرسال النبضة والزمن الذي تم فيه استقبال الانعكاس ثانية : فمسافة الحدث هي نصف الوقت الذي يُستغرق لهذه الرحلة الدائرية، مضروباً بسرعة الضوء. (والحدث بهذا المعنى، هو شئ يقع عند نقطة واحدة في المكان، وعند نقطة محددة في الزمان). وهذه الفكرة موضحة في شكل ٢، ١، وهو مثل للرسم البيانى للمكان - الزمان. وباستخدام هذه الطريقة فإن الملاحظين الذي يتحرك بعضهم بالنسبة للبعض سيعينون أوقات ومواضع مختلفة لنفس الحدث. وإن تكون قياسات ملاحظ معين أكثر دقة بئى حال عن قياسات أى ملاحظ آخر، ولكن القياسات كلها نسبية. وأى ملاحظ

يستطيع أن يستنبط بالضبط ما هو الزمان والموضع الذي سيعينه أى ملاحظ آخر لأحد الأحداث، بشرط أن يعرف السرعة النسبية للملاحظ الآخر.

ونحن الآن نستخدم بالضبط هذه الطريقة لقياس المسافات قياسا دقيقا، لأننا نستطيع قياس الوقت بدقة أكبر من الأطوال. والواقع، أن المتر يُعرّف بأنه المسافة التي يقطعها الضوء فى ٢٩٥٢٠٩٦٤٠٣٣٣٠٠٠٠٠٠٠٠٠ من الثانية، كما يقاس بساعة سيزيوم. (السبب فى هذا الرقم بالذات هو أنه يناظر التعريف التاريخى للمتر - فى حدود علامتين على قضيب بلاتينى معين محفوظ فى باريس). وبالمثل، يمكننا استخدام وحدة طول جديدة أكثر ملائمة تسمى ثانية - ضوئية. وهى تُعرّف ببساطة بأنها المسافة التي يقطعها الضوء فى ثانية واحدة. ونحن فى نظرية النسبية، نعرّف المسافة الآن بحدود من الزمان وسرعة الضوء، ويترتب على ذلك تلقائيا أن كل ملاحظ يقيس الضوء سيجد أن له نفس السرعة (حسب التعريف، متر واحد لكل ٢٩٥٢٠٩٦٤٠٣٣٣٠٠٠٠٠٠٠٠ من الثانية). وليس من حاجة لإدخال فكرة الأثير، الذى لا يمكن بأى حال اكتشاف وجوده، كما بينت تجربة ميكلسون - مورلى. على أن نظرية النسبية تجبرنا بالفعل على أن نغير أفكارنا عن المكان والزمان تغييرا جوهريا. فيجب أن نتقبل أن الزمان ليس منفصلا ولا مستقلا على نحو تام عن المكان، ولكنه ينضم معه ليشكلا شيئا يسمى المكان - الزمان.

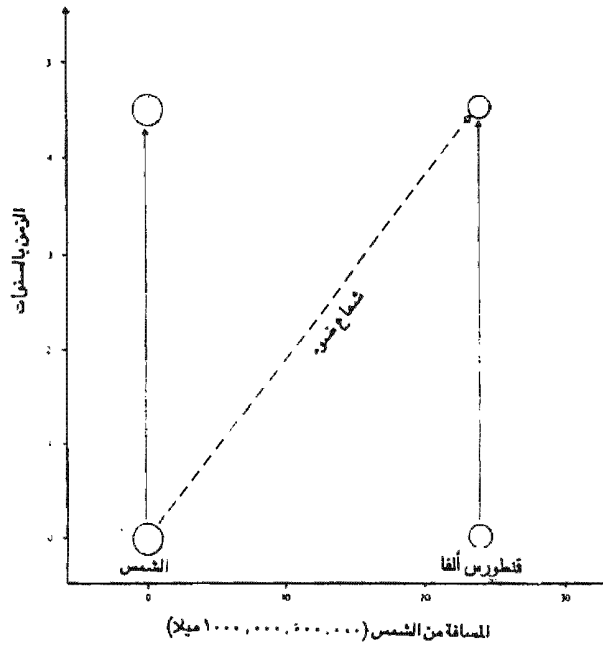
ومن أمور الخبرة المشتركة أن المرء يستطيع توصيف موقع نقطة فى المكان بثلاثة أرقام أو إحداثيات. فمثلا يمكن للمرء أن يقول إن إحدى النقاط فى غرفة هى على بعد سبعة أقدام من أحد الجدران، وثلاثة أقدام من جدار آخر، وخمسة أقدام فوق الأرضية. أو يستطيع المرء أن يحدد أن إحدى النقاط هى عند خط عرض وخط طول معينين وعند ارتفاع معين فوق سطح البحر. والمرء حرية اختيار أى ثلاثة إحداثيات ملائمة، وإن كان لها نطاق محدود لا غير من صحة الاستخدام. فلن يحدد المرء موضع القمر بحدود من الأميال شمال وغرب ميدان ميكاديللى والأقدام التي يرتفع بها عن سطح البحر. وبدلا من ذلك، فإن للمرء أن يوصفه بحدود من البعد عن الشمس، والبعد عن مستوى أفلاك الكواكب، والزوايا بين خط يصل القمر بالشمس وخط يصل الشمس بنجم قريب مثل قنطزوس ألفا. وحتى هذه الإحداثيات لن تكون ذات فائدة كبيرة فى توصيف موقع الشمس فى مجرتنا أو موضوع مجرتنا فى المجموعة المحلية من المجرات. والحقيقة، أن المرء قد يوصف الكون كله فى حدود من مجموعة من الرقع المتداخلة. ويستطيع المرء فى كل رقعة أن يستخدم مجموعة من ثلاثة إحداثيات لتعيين موضع إحدى النقاط.

والحدث هو شئ يحدث عند نقطة معينة فى المكان وعند زمن معين. وهكذا يستطيع المرء أن يحدده بأربعة أرقام أو إحداثيات. ومرة أخرى، فإن اختيار الإحداثيات أمر تعسفى؛ فيستطيع المرء

أن يستخدم أى ثلاثة إحداثيات مكانية محددة جيدا وأى مقياس للزمن. وليس فى النسبية تمييز حقيقى بين إحداثيات المكان والزمان، تماما مثلما لا يوجد أى فارق حقيقى بين أى إحداثيين المكان. ويستطيع المرء أن يختار مجموعة جديدة من الإحداثيات يكون فيها أول إحداثيات المكان مثلا، توليفة من الإحداثيين المكانيين القديمين الأول والثانى. فمثلا، بدلا من قياس موضع نقطة على الأرض بالأميال شمال بيكاديللى وغرب بيكاديللى، فإنه يمكن للمرء أن يستخدم الأميال شمال شرق بيكاديللى، والأميال شمال غرب بيكاديللى. وبالمثل فإنه فى النسبية يمكن للمرء أن يستخدم إحداثيا جديدا للزمن هو الزمان القديم (بالثوانى) زائدا المسافة (بالثانية الضوئية) شمال بيكاديللى.

ومما سيماعدنا كثيرا أن نتصور الإحداثيات الأربعة لحدث ما على أنها تعين موضعه فى فضاء ذى أربعة أبعاد يسمى المكان - الزمان، ومن المستحيل تخيل مكان رباعى الأبعاد وأنا شخصا أجد من الصعوبة بمكان أن يتصور المرء مكانا ثلاثى الأبعاد! على أنه من السهل رسم أشكال بيانية لمسافات ذات بعدين، مثل سطح الأرض. (سطح الأرض ذو بعدين لأن موضع نقطة ما يمكن تعيينه بإحداثيين، خط العرض وخط الطول). وسوف استخدم بصفة عامة الرسوم البيانية التى يزيد فيها الزمان لأعلى ويُبيَّن فيها أحد الأبعاد المكانية أفقيا. والبعدان المكانيان الآخران يتم تجاهلهما، أو أحيانا يُبيَّن واحد منهما برسم المنظور. (وتسمى هذه رسوم بيانية للمكان - الزمان، كما فى شكل ٢.١) وكمثل فى شكل ٢.٢ يقاس الزمان لأعلى بالسنوات وتقاس المسافة على طول الخط من الشمس لقنطورس ألفا أفقيا بالأميال. ومسار الشمس وقنطورس ألفا خلال المكان - الزمان تبينها الخطوط الرأسية التى إلى يسار ويمين الشكل. ويتبع شعاع الضوء من الشمس الخط المائل، ويستغرق أربعة أعوام ليصل من الشمس إلى قنطورس ألفا.

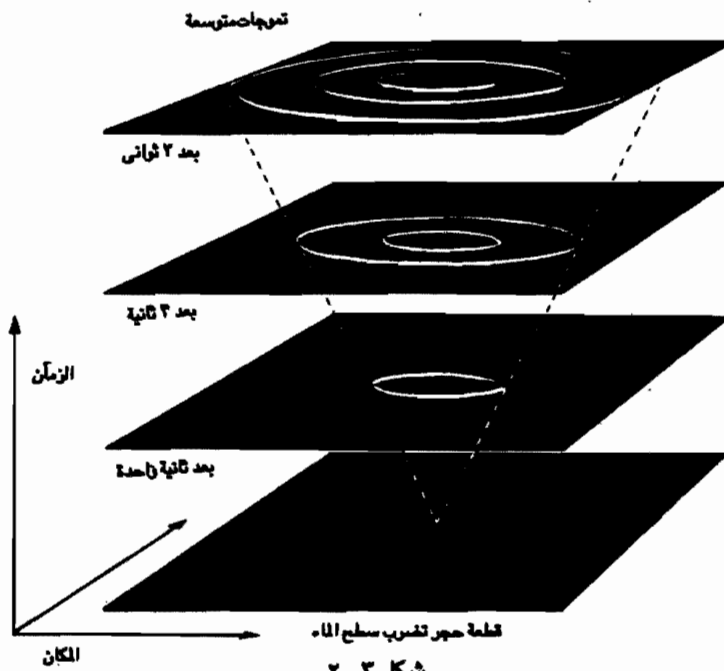
وكما رأينا من قبل، فإن معادلات مكسويل تنبأت بأن سرعة الضوء ينبغي أن تكون هى نفسها مهما كانت سرعة المصدر، وقد تأكد هذا بقياسات دقيقة. ويترتب على ذلك أنه إذا انبعثت نبضة ضوء عند زمن معين عند نقطة معينة فى المكان، فإنها مع مرور الزمن سوف تنتشر للخارج فى كرة من الضوء حجمها وموقعها مستقلان عن سرعة المصدر. وبعد جزء من المليون من الثانية، يكون الضوء قد انتشر ليكون كرة نصف قطرها ٢٠٠ مترا؛ وبعد جزئين من المليون من الثانية، يكون نصف القطر ٦٠٠ مترا؛ وهلم جرا. وسيكون الأمر مثل التموجات التى تنتشر للخارج على سطح بركة عندما تلقى فيها قطعة حجر. وتنتشر التموجات للخارج كدائرة تزداد كبرا بمرور الوقت. ولو تصور المرء نموذجا ثلاثى الأبعاد يتكوّن من سطح البركة ذى البعدين مع البعد الواحد للزمان، فإن دائرة التموجات المتسعة ستحدد مخروطا طرفه عند المكان والوقت الذى اصطدمت فيه قطعة الحجر بالماء (شكل ٢.٣). وبالمثل فإن الضوء الذى ينتشر للخارج من حدث ما يشكل مخروطا ثلاثى الأبعاد فى المكان - الزمان ذى الأبعاد الأربعة. وهذا المخروط يسمى مخروط ضوء



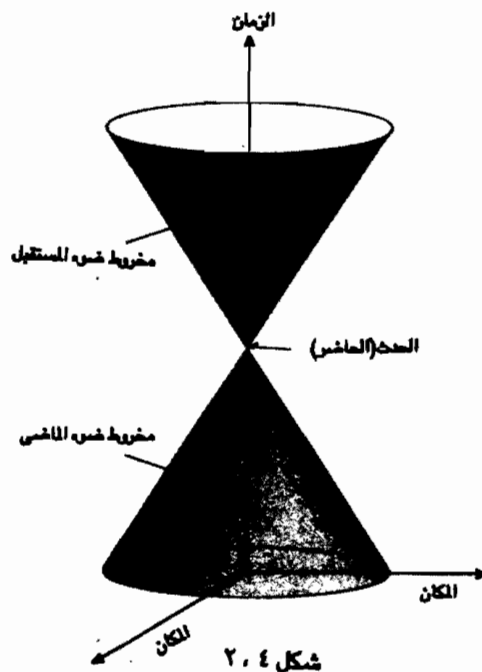
شكل ٢ . ٢

المستقبل للحدث. ويمكننا بنفس الطريقة أن نرسم مخروطاً آخر يسمى مخروط ضوء الماضي، وهو مجموعة الأحداث التي يمكن لنبضة ضوء أن تصل منها إلى الحدث المفروض (شكل ٢ . ٤).

ومخروطات ضوء الماضي والمستقبل للحدث P تقسم المكان - الزمان إلى ثلاث مناطق (شكل ٢ . ٥). والمستقبل المطلق للحدث هو المنطقة التي من داخل مخروط ضوء المستقبل P . وهو مجموعة كل الأحداث التي يمكن لها فيما يحتمل أن تتأثر بما يحدث عند P . والأحداث خارج مخروط ضوء P لا يمكن أن تصل إليها إشارات من P لأنه ما من شيء يستطيع الانتقال بأسرع من الضوء. وهكذا فإنها لا يمكن أن تتأثر بما يحدث عن P . والماضي المطلق لـ P هو المنطقة التي من داخل مخروط ضوء الماضي. وهي مجموعة كل الأحداث التي يمكن لإشارات منها، تنتقل بسرعة تبلغ سرعة الضوء أو تقل عنها، أن تصل إلى P . فهي إذن مجموعة كل الأحداث التي تستطيع فيما يحتمل أن تؤثر فيما يحدث عند P . ولو عرف المرء ما يحدث عند وقت معين في كل مكان من منطقة الفضاء التي تقع من داخل مخروط ضوء الماضي لـ P فإن المرء يستطيع أن يتنبأ بما سيحدث عند P . والمكان الآخر Else where هو منطقة المكان - الزمان التي لا تقع داخل

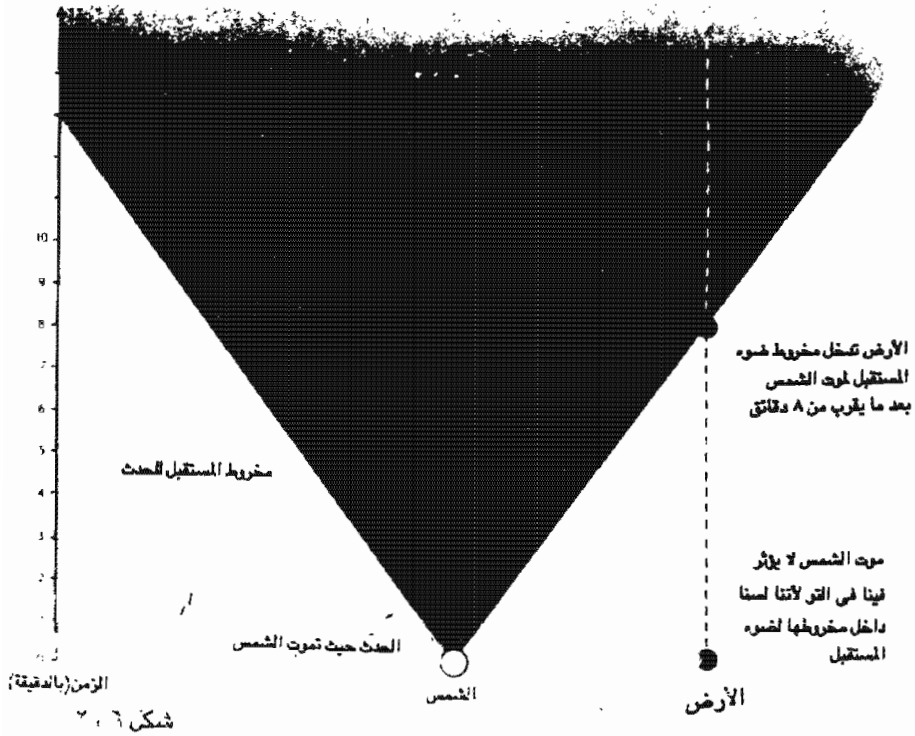


شكل ٢، ٣





شكل ٢٠٥



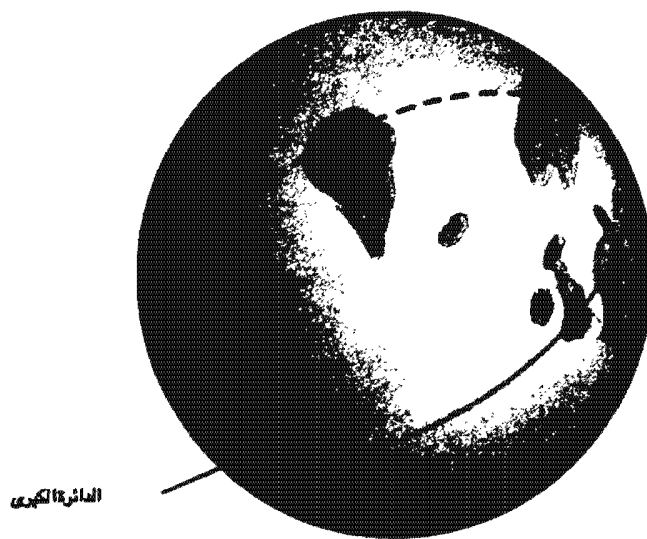
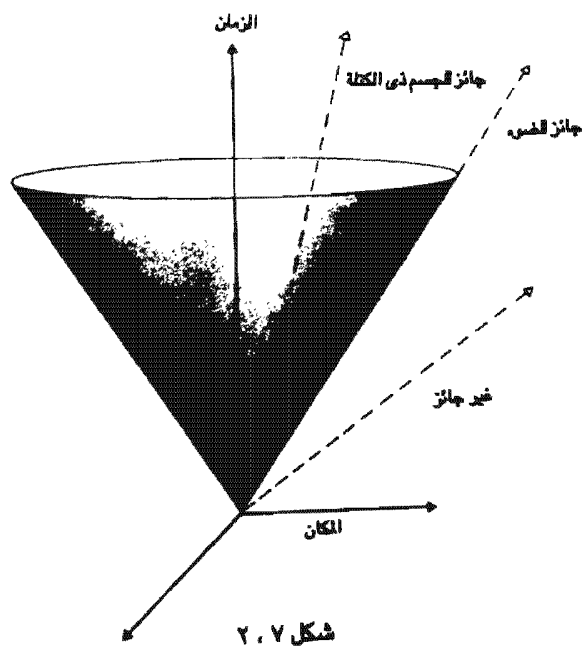
شكل ٢٠٦

مخروط ضوء المستقبل أو الماضي P . والأحداث في المكان الآخر لا يمكن أن تؤثر أو تتأثر بالأحداث عند P . وكمثل، فلو أن الشمس كانت ستتوقف عن الإضاءة في هذه اللحظة نفسها، فإنها لن تؤثر في الأشياء على الأرض في الوقت الحالي لأن هذه الأشياء ستكون في المكان الآخر بالنسبة للحدث عندما تنطفئ الشمس (شكل ٢.٦). ولن نعرف بالأمر إلا بعد ثمانى دقائق، وهو الوقت الذى يستغرقه الضوء ليصلنا من الشمس. وعندما فقط تقع الأحداث التى على الأرض داخل مخروط ضوء مستقبل الحدث الذى انطفأت الشمس عنده. وبالمثل، فإننا لا نعرف ماذا يحدث فى اللحظة الحالية بعيدا فى الكون: فالضوء الذى نراه من المجرات البعيدة قد تركها منذ ملايين السنين، وفى حالة ما نراه من الأشياء التى على أقصى بعد منا، يكون الضوء قد بارحها من حوالى ثمانية آلاف مليون سنة. وهكذا فإننا عندما ننظر إلى الكون فنحن نراه كما كان فى الماضى.

ولو أهمل المرء تأثيرات الجاذبية، كما فعل أينشتين وبوانكاريه فى ١٩٠٥، فإنه يحصل على ما يسمى النظرية الخاصة للنسبية. ويمكننا أن ننشئ لكل حدث فى المكان - الزمان مخروط ضوء (مجموعة كل مسارات الضوء الممكنة فى المكان - الزمان التى تتبع عند الحدث)، وحيث أن سرعة الضوء تكون هى نفسها عند كل حدث وفى كل اتجاه، فإن كل مخروطات الضوء ستكون متماثلة وستشير كلها فى نفس الاتجاه. وتخبرنا النظرية أيضا أن شيئا لا يمكن أن ينتقل بأسرع من الضوء. ويعنى هذا أن مسار أى شئ خلال المكان والزمان يجب أن يتم تمثيله بخط يقع من داخل مخروط الضوء عند كل حدث عليه (شكل ٢.٧).

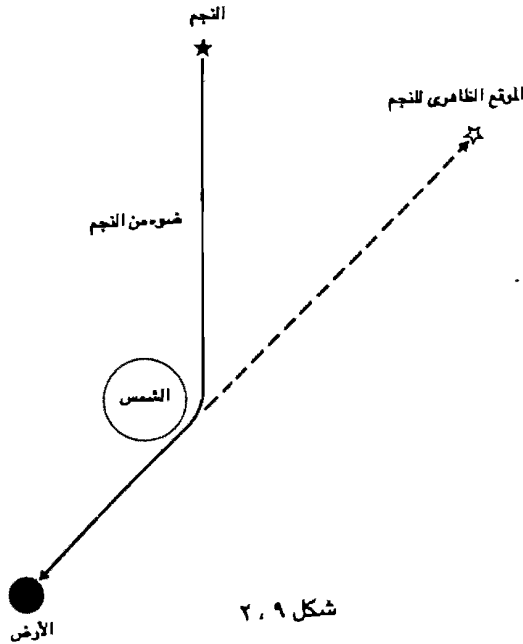
ونظرية النسبية الخاصة نجحت جدا فى تفسير أن سرعة الضوء تبدو هى نفسها لكل الملاحظين (كما بينت تجربة ميكلسون - مورلى) وفى توصيف ما يحدث عندما تتحرك الأشياء بسرعات مقاربة لسرعة الضوء. على أنها كانت غير متوافقة مع نظرية نيوتن للجاذبية التى تقول إن الأشياء يجذب أحدها الآخر بقوة تعتمد على المسافة التى بينها. ويعنى هذا أنه لو حرك المرء أحد الأشياء، فإن القوة التى على الشئ الآخر ستتغير فى التو. أو بكلمات أخرى، فإن تأثيرات الجاذبية ينبغى أن تنتقل بسرعة لا متناهية، بدلا من أن تكون بسرعة الضوء أو أقل منه، كما تتطلب نظرية النسبية الخاصة. وقام أينشتين بعدة محاولات فاشلة بين ١٩٠٨، و١٩١٤ للعثور على نظرية للجاذبية تتوافق مع النسبية الخاصة. وأخيرا فإنه فى ١٩١٥ اقترح ما نسميه الآن النظرية العامة للنسبية.

وطرح أينشتين اقتراحا ثوريا بأن الجاذبية ليست قوة مثل سائر القوى، ولكنها تنتج عن حقيقة أن المكان - الزمان ليس مسطحا كما كان يفترض من قبل: وإنما هو منحنى، أو «ملوى»، بسبب توزيع الكتلة والطاقة فيه. فالأجسام مثل الأرض لم تجعل لتتحرك على أفلاك منحنية بسبب



قوة تدعى الجاذبية؛ وبدلاً من ذلك فاتها تتبع أقرب شئ للمسار المستقيم في المكان المنحني، وهو ما يسمى بالجيوديسى Geodesic. والجيوديسى هو أقصر (أو أطول) مسار بين نقطتين متجاورتين. وكمثل، فإن سطح الأرض هو مكان منحني ذي بعدين. والجيوديسى على الأرض يسمى الدائرة الكبرى، وهو أقصر طريق بين نقطتين (شكل ٨. ٢). ولما كان الجيوديسى هو أقصر طريق بين أى مطارين، فإنه هو الطريق الذى يخبر به ملاح الخط الجوى طياره حتى يطير فيه. وفى النسبية العامة، تتبع الأجسام دائماً خطوطاً مستقيمة فى المكان - الزمان ذو الأبعاد الأربعة، ولكنها مع ذلك تبدو لنا على أنها تتحرك على مسارات منحنية فى فراغنا ذو الأبعاد الثلاثة. (ويكاد هذا يشبه مراقبة طائرة تطير فوق أرض ذات تلال. ورغم أنها تتبع خطاً مستقيماً فى المكان ذو الأبعاد الثلاثة، إلا أن ظلها يتبع مساراً منحنيًا على الأرض ذات البعدين).

وكتلة الشمس تُحنى المكان - الزمان بحيث أنه رغم اتباع الأرض مساراً مستقيماً فى المكان - الزمان ذو الأبعاد الأربعة، إلا أنها تبدو لنا على أنها تتحرك فى فلك دائرى فى المكان ذو الأبعاد الثلاثة. والحقيقة أن أفلاك الكواكب التى تتنبأ بها النسبية العامة تكاد تماثل بالضبط تلك التى تنبأت بها نظرية نيوتن للجاذبية، على أنه فى حالة عطارد، حيث أنه أقرب الكواكب للشمس،



فإنه يحس بأقوى تأثيرات الجاذبية، ويكون له فلك أميل للاستطالة، وتتنبأ النسبية العامة بأن المحور الطويل للاهليلج ينبغي أن يدور حول الشمس بمعدل يقرب من درجة واحدة كل عشرة آلاف سنة. ومع صغر هذا التأثير، فإنه قد لوحظ قبل ١٩١٥ وأفاد كواحد من أول الإثباتات لنظرية اينشتين. وفي السنوات الأخيرة تم قياس ما هو أصغر حتى من ذلك من انحرافات في أفلاك الكواكب الأخرى عن تنبؤات نيوتن وذلك باستخدام الرادار، ووجد أنها تتفق وتنبؤات النسبية العامة.

وأشعة الضوء أيضا لا بد من أن تتبع الجيوبيسيات في المكان - الزمان. ومرة أخرى فحقيقة أن المكان منحني تعني أن الضوء لم يعد بعد ينتقل فيما يظهر في خطوط مستقيمة في المكان. وهكذا فإن النسبية العامة تتنبأ بأن الضوء ينبغي أن تقوّس مجالات الجاذبية، وكمثل فإن النظرية تتنبأ بأن مخروطات الضوء للنقط القريبة من الشمس تكون مقوسة قليلا للداخل، بسبب كتلة الشمس. ويعني هذا أن الضوء الصادر من نجم بعيد والذي يتفق أن يمر على مقربة من الشمس سينحرف بزاوية صغيرة، فيجعل النجم يبدو في موقع مختلف للملاحظ على الأرض (شكل ٢.٩). وبالطبع، فلو كان الضوء من النجم يمر دائما بالقرب من الشمس فإننا لن نتمكن من معرفة إذا كان الضوء قد انحرف، أو أن النجم بدلا من ذلك هو حقيقة حيث نراه. على أنه إذ تكور الأرض حول الشمس، تبدو النجوم المختلفة مارة من خلف الشمس ويصبح ضوءها منحرفا. هكذا فإنها تغير من موقعها الظاهري بالنسبة للنجوم الأخرى.

وفي الظروف الطبيعية يصعب جدا رؤية هذا التأثير، لأن الضوء الآتي من الشمس يجعل من المستحيل ملاحظة النجوم التي تظهر في السماء بالقرب من الشمس. على أنه يمكن القيام بذلك أثناء كسوف الشمس، عندما يتم اعتراض ضوء الشمس كلية بواسطة القمر. ولم يكن من الممكن اختبار تنبؤ إينشتين بانحراف الضوء في سنة ١٩١٥ في التو، ذلك أن الحرب العالمية الأولى كانت قائمة، فلم يتم ذلك حتى ١٩١٩ عندما قامت بعثة بريطانية برصد الكسوف من غرب أفريقيا، وبينت أن الضوء ينحرف حقا بواسطة الشمس، تماما مثلما تنبأت به النظرية. وهذا البرهان على نظرية ألمانية بواسطة علماء بريطانيين كان مما رُحّب به كعمل عظيم للتوفيق بين البلدين بعد الحرب. وإنه إذن لما يثير السخرية، أن الفحص اللاحق للصور الفوتوغرافية التي التقطتها البعثة قد بين أن ثمة أخطاء عظيمة عظم التأثير الذي كانت تحاول قياسه. وقد كان في القياس محض حظ، أو هي حالة من معرفة النتيجة التي يريدون الحصول عليها، وهو حدث ليس بغير الشائع في العلم. على أن انحراف الضوء تم إثباته بدقة بعدد من المشاهدات اللاحقة.

وأحد التنبؤات الأخرى للنسبية العامة هي أن الزمان ينبغي أن يبدو وهو يمضي بسرعة أقل

وهو بالقرب من جسم ضخم كالأرض. وسبب ذلك أن هناك علاقة بين طاقة الضوء وتردده (أى عدد موجات الضوء فى كل ثانية): فكلما زادت الطاقة، علا التردد. وإذا ينتقل الضوء لأعلى فى مجال جاذبية الأرض، فإنه يفقد طاقة، وهكذا فإن تردده ينخفض. (ويعنى هذا أن طول الزمن بين نروة أحد الموجات والنروة التالية سيزيد). وبالنسبة لأحد الأفراد فى الأعلى، سيبدو له أن كل شئ فى أسفل يستغرق وقتا أطول حتى يحدث. وقد اختبرت هذه النبوة فى ١٩٦٢، باستخدام ساعتين دقيقتين جدا ثبتتا فى قمة وقاع برج ماء*. وقد وجد أن الساعة التى عند القاع، أى الأقرب للأرض، تدور بسرعة أبطأ، بما يتفق بالضبط مع النسبية العامة. والفارق بين سرعة الساعتين على الارتفاعات المختلفة فوق الأرض له الآن أهمية تطبيقية لها قدرها، بحلول نظم الملاحة، بالغة الدقة، التى تتأسس على الإشارات المرسله من الأقمار الصناعية. ولو تجاهل المرء تنبؤات النسبية العامة، فإن الموقع الذى يحسبه سيكون فيه خطأ بأميال عديدة!

لقد وضعت قوانين نيوتن للحركة النهاية لفكرة الموضع المطلق فى المكان. وتخلصت نظرية النسبية من الزمان المطلق. هيا ننظر الآن أمر توأمين. هب أن أحد التوأمين ذهب ليعيش على قمة جبل بينما بقى الآخر على مستوى سطح البحر. إن التوأم الأول سيزيد سنّه بسرعة أكبر من الثانى. وهكذا، فلو التقيا ثانية، فإن أحدهما سيكون أكبر سنا من الآخر. وفى هذه الحالة، سيكون فارق السن ضئيلا جدا، إلا أنه سيكون أكبر كثيرا لو أن أحد التوأمين مضى فى رحلة طويلة فى مركب فضاء بسرعة تقارب سرعة الضوء. فهو عندما يعود، سيكون عمره أصغر كثيرا عن التوأم الذى بقى على الأرض. ويعرف هذا باسم مفارقة التوأمين، ولكنها مفارقة فقط إذا كان المرء ما زال يحتفظ بفكرة الزمان المطلق فى خلفية ذهنه. وفى نظرية النسبية ليس ثمة زمان مطلق فريد، وإنما بدلا من ذلك يكون لكل فرد مقياسه الزمانى الشخصى الخاص به الذى يعتمد على مكان وجوده وكيفية تحركه.

وقبل ١٩١٥، كان يعتقد أن المكان والزمان كملعب ثابت تجرى فيه الأحداث، ولكنه لا يتأثر بما يقع فيه. وكان هذا يصدق حتى على نظرية النسبية الخاصة. فالأجسام تتحرك، والقوى تجذب وتتنافر، ولكن الزمان والمكان هما ببساطة مستمران بلا تأثر. وكان من الطبيعى الاعتقاد بأن المكان والزمان مستمران للأبد.

على أن الموقف يصبح مختلفا تماما فى نظرية النسبية العامة. فالمكان والزمان هما الآن كمان ديناميكيان : وعندما يتحرك أحد الأجسام، أو تعمل إحدى القوى، فإن ذلك يؤثر فى منحنى

* water tower أنبوية أو برج رأسى لتخزين ما يكفى من الماء على ارتفاع كافٍ لحفظ ضغط معين.

المكان والزمان - وبالتالي فإن بنية المكان - الزمان تؤثر في الطريقة التي تتحرك بها الأجسام وتعمل بها القوى. والمكان والزمان ليسا فحسب مؤثرين بل هما أيضا يتأثران بكل ما يحدث في الكون. وكما أن المرء لا يستطيع أن يتحدث عن أحداث في الكون دون فكرتي المكان والزمان، فإنه يماثل ذلك تماما أنه قد أصبح مما لا معنى له في النسبية العامة أن نتحدث عن المكان والزمان خارج حدود الكون.

وكان من اللازم في العقود التالية أن يتطور هذا الفهم الجديد للمكان والزمان من نظرتنا للكون. والفكرة القديمة عن كون لا يتغير أساسا يمكن أن يكون قد وجد، ويمكن أن يستمر في الوجود، حلت مكانها نهائيا نظرية عن كون متمدّد ديناميكي يبدو أنه قد بدأ منذ وقت متناهي، وقد ينتهي عند وقت متناهٍ في المستقبل. وتشكل هذه الثورة موضوع الفصل القادم. وقد أصبح ذلك أيضا في السنوات اللاحقة، نقطة البدء لبحثي في الفيزياء النظرية. وقد بينت أنا وروجر بنروز أن نظرية أينشتاين للنسبية العامة تدل على أن الكون لا بد وأن له بداية، وربما تكون له نهاية.



الكرونومتر

لو نظر المرء إلى السماء ذات ليلة صافية بلا قمر، فلعل أشد ما يراه سطوعا هو كواكب الزهرة والمريخ والمشتري وزحل. وسيكون هناك أيضا عدد كبير جدا من النجوم هي بالضبط مثل شمسنا إلا أنها أبعد منها كثيرا عنا. وبعض هذه النجوم الثابتة يبدو في الحقيقة أنها فعلا تغير بقدر بسيط جدا مواقعها أحدها بالنسبة للآخر إذ تدور الأرض حول الشمس: فهي في الواقع ليست مطلقا ثابتة! وسبب ذلك أنها قريبة منا نسبيا. وإذا تدور الأرض حول الشمس، فإننا نرى هذه النجوم من مواضع مختلفة قبالة خلفية من النجوم الأكثر بعدا. وهذا من حسن الحظ، لأن هذا يمكننا من أن نقيس مباشرة مسافة هذه النجوم منا: وكلما زادت النجوم قريبا بدا أنها تتحرك أكثر. وأقرب نجم، المسمى القنطورس الأدنى، قد وجد أنه يبعد بحوالى أربع سنوات ضوئية (يستغرق الضوء الخارج منه حوالى أربع سنوات للوصول إلى الأرض)، أو بحوالى ثلاثة وعشرين مليون مليون ميلا. ومعظم النجوم الأخرى التى يمكن رؤيتها بالعين المجردة تبعد عنا بمسافة فى حدود مئات معدودة من السنين الضوئية. والمقارنة فإن شمسنا هي على بعد مجرد ثمانى دقائق ضوئية! والنجوم المرئية تظهر منتشرة عبر سماء الليل كلها، ولكنها تتركز بالذات فى حزمة واحدة نسميها درب التبانة. ومنذ زمن طويل يصل إلى عام ١٧٥٠، اقترح بعض علماء الفلك أنه يمكن تفسير مظهر درب التبانة إذا كانت معظم النجوم المرئية تقع فى شكل واحد يشبه القرص، هو أحد أمثلة ما نسميه الآن المجرة اللولبية. وبعد عقود معدودة فحسب، أثبت عالم الفلك سير وليام هرتشل فكرته هذه بأن صنف بمجهود مثابر مواقع وأبعاد أعداد هائلة من النجوم: وحتى مع هذا فإن الفكرة لم تكتسب قبولا كاملا إلا فى أوائل هذا القرن.

وصورتنا الحديثة عن الكون يرجع تاريخها فقط إلى ١٩٢٤، عندما برهن عالم الفلك الأمريكى إدوين هابل على أن مجرتنا ليست المجرة الوحيدة. والحقيقة أن هناك مجرات كثيرة أخرى، بينها قطع فسيحة من فضاء خالي. وحتى يثبت ذلك فإنه احتاج إلى تحديد المسافات إلى

هذه المجرات الأخرى، وهي بعيدة جدا بحيث أنها بخلاف النجوم القريبة تبدو فى الواقع ثابتة فعلا. واضطر هابل بسبب ذلك إلى استخدام وسائل غير مباشرة لقياس المسافات. والآن، فإن النصور الظاهرى لنجم ما يعتمد على عاملين: قدر الضوء الذى يشععه (ضيائه) luminosity، وقدر بعده عنا. وبالنسبة للنجوم القريبة، فإننا نستطيع قياس نصورها الظاهرى وبعدها، وهكذا يمكننا حساب ضيائها. وبالعكس، لو عرفنا ضياء النجوم فى المجرات الأخرى، فإنه يمكننا حساب مسافة بعدها بقياس نصورها الظاهرى. وقد لاحظ هابل أن أنواعا معينة من النجوم لها دائما نفس الضياء عندما تكون على مسافة قريبة منا بما يكفى لقياسها؛ وإن كان فإنه يحتاج بأننا لو وجدنا نجوما كهذه فى مجرة أخرى، فإننا يمكننا افتراض أن لها نفس الضياء - وبذا نحسب مسافة تلك المجرة. وإذا أمكننا فعل ذلك بالنسبة إلى عدد من النجوم فى نفس المجرة، وأعطينا حساباتنا دائما نفس المسافة، فإنه يمكننا أن نثق إلى حد ما فى تقديرنا.

وبهذه الطريقة قام هابل بحساب المسافات إلى تسع مجرات مختلفة. ونحن نعرف الآن أن مجرتنا ليست إلا واحدة من مجرات يناهز عددها مائة ألف مليون مما يمكن رؤيته باستخدام التليسكوبات الحديثة، وكل مجرة بذاتها تحوى ما يناهز مائة ألف مليون نجم. ويبين شكل ٢.٨ صورة مجرة لولبية، تشبه ما نظن أن مجرتنا يجب أن تبدو عليه بالنسبة لشخص يعيش فى مجرة أخرى. ونحن نعيش فى مجرة يقرب اتساعها من مائة ألف سنة ضوئية، وتدور ببطء، والنجوم فى أنوعها اللولبية تدور حول مركزها بمعدل يقرب من دورة كل عدة مئات الملايين من السنين. وشمسنا هى فحسب نجم أصغر عادى ذى حجم متوسط على مقربة من الحرف الداخلى لأحد الأنوع اللولبية. وهكذا، فنحن بلا شك قد قطعنا طريقا طويلا منذ أرسطو وبطليموس، عندما كنا نظن أن الأرض هى مركز الكون!

والنجوم يبلغ من بعدها أنها تبدو لنا وكأنها فقط نقط دقيقة من الضوء. فنحن لا نستطيع رؤية حجمها أو شكلها. وإن كنا كيف نستطيع تمييز الأنواع المختلفة من النجوم؟ إن الأغلبية العظمى من النجوم لها ملمح واحد متميز يمكننا ملاحظته - هو لون ضوءها. وقد اكتشف نيوتن أنه إذا مر الضوء الآتى من الشمس خلال قطعة من الزجاج مثلية الشكل، تسمى المنشور، فإنه ينقسم إلى ألوانه المكونة له (طيفه) كما فى قوس قزح. وإذا ضبطينا بؤرة تليسكوب على نجم مفرد أو مجرة مفردة، فإن المرء يستطيع بالمثل أن يرصد طيف الضوء الآتى من النجم أو المجرة. والنجوم المختلفة لها أطيايف مختلفة، ولكن النصور السبى للألوان المختلفة هو دائما بالضبط ما يتوقع المرء أن يجده فى ضوء ينبعث عن شئ يتوهج محمرا بالحرارة. (الحقيقة أن الضوء الذى ينبعث عن أى شئ معتم يتوهج محمرا بالحرارة يكون له طيف متميز يعتمد فقط على درجة حرارته - طيف

حرارى. ويعنى هذا أننا يمكننا أن نعرف درجة حرارة النجم من طيف ضوئه). وفوق ذلك، فإننا نجد أن بعض الألوان الخاصة جدا تغيب عن أطيايف النجوم، وهذه الألوان الغائبة قد تتابى من نجم لآخر. ولما كنا نعرف أن كل عنصر كيميائى يمتص مجموعة مميزة من الألوان الخاصة جدا، فإنه بغضاهة هذه مع تلك الغائبة من طيف أحد النجوم، يمكننا أن نحدد بالضبط أى العناصر تكون موجودة فى جو النجم.

وعندما بدأ علماء الفلك ينظرون إلى أطيايف النجوم فى المجرات الأخرى فى العشرينيات من هذا القرن، وجدوا أمرا فى منتهى الغرابة : فقد كان هناك نفس المجموعات المميزة من الألوان الغائبة كما بالنسبة للنجوم فى مجرتنا نفسها، ولكنه كانت جميعا مزاحة بنفس القدر النسبى تجاه الطرف الأحمر من الطيف. ولفهم مغزى ذلك، ينبغى أولا أن نفهم ظاهرة دوبلر (Doppler effect). كما قد رأينا، فإن الضوء المرئى يتكون من تذبذبات، أو موجات، فى المجال الكهرومغناطى. وتردد الضوء (أو عدد موجاته فى كل ثانية) هو تردد عالى لأقصى علو يتراوح من أربعمئة إلى سبعمئة مليون مليون موجة فى الثانية. وترددات الضوء المختلفة هى ما تراه العين البشرية كألوان مختلفة، حيث تظهر أدنى الترددات عند الطرف الأحمر من الطيف وأعلىها عند الطرف الأزرق. والآن، تخيل مصدر ضوء على مسافة ثابتة منا، مثل أحد النجوم، وهو يبعث موجات ضوء ذات تردد ثابت. من الواضح أن تردد الموجات التى نلقاها سيكون مماثلا للتردد الذى تنبعث به (لن يكون مجال جاذبية المجرة كبيرا بما يكفى لأن يكون له تأثير ذى أهمية). هب الآن أن مصدر الضوء بدأ يتحرك تجاهنا. عندما يبعث المصدر نروة الموجة التالية فإنه سيكون أقرب لنا، وهكذا فإن الوقت الذى تستغرقه نروة الموجة التالية حتى تصل إلينا سيكون أقل مما تستغرقه فيما لو كان النجم ثابتا. ويعنى هذا أن الوقت بين نروتي الموجتين الواصلتين إلينا سيكون أقصر، وبالتالي فإن عدد الموجات التى نلقاها فى كل ثانية (أى التردد) يكون أعلى مما لو كان النجم ثابتا. وبالمقابل، إذا كان المصدر يتحرك بعيدا عنا، فإن تردد الموجات التى نلقاها سيكون أدنى. وفى حالة الضوء إذن، سيعنى هذا أن النجوم التى تتحرك بعيدا عنا ستكون أطيايفها مزاحة تجاه الطرف الأحمر من الطيف (إزاحة حمراء) والنجوم التى تتحرك تجاهنا ستكون أطيايفها مزاحة للأزرق. وهذه العلاقة بين التردد والسرعة، والتى تسمى ظاهرة دوبلر، هى من خبرات الحياة اليومية، استمع إلى عربة تمر على الطريق : أثناء اقتراب العربة، يكون صوت محركها عالى الطبقة (موافقا للتردد العالى لموجات الصوت)، وعندما تمر العربة ثم تولى مبتعدة فإن صوتها يكون منخفض الطبقة. وسلوك موجات الضوء أو الراديو مماثل. والحقيقة أن الشرطة تستفيد من ظاهرة دوبلر لقياس سرعة

السيارات، بأن تقيس تردد نبضات موجات الراديو المنعكسة عن السيارات.

وفى السنوات التى تلت إثبات هابل لوجود مجرات أخرى، أنفق هابل وقته فى تصنيف مسافاتها ورصد أطرافها. وكان معظم الناس فى ذلك الوقت يتوقعون أن المجرات تتحرك فيما حولها حركة عشوائية تماما، وهكذا فإنهم توقعوا أن يجدوا عدد الأطياف ذات الإزاحة الزرقاء مساوية لتلك ذات الإزاحة الحمراء. وإذا فقد كان من المفاجئ تماما أن نجد أن معظم المجرات ذات إزاحة حمراء: فكلها تقريبا تتحرك بعيدا عنا! بل والأكثر مفاجأة اكتشاف هابل الذى نشر فى ١٩٢٩: فحتى حجم الإزاحة الحمراء لمجرة ما لم يكن عشوائيا، ولكنه يتناسب طرديا مع بعد المجرة عنا. أو بكلمات أخرى، كلما زادت المجرة بعدا، زادت سرعة تحركها بعيدا! وهذا يعنى أن الكون لا يمكن أن يكون استاتيكيًا، كما كان كل واحد يظن فيما سبق، وإنما هو فى الحقيقة يتمدد؛ والمسافة بين المجرات المختلفة تزيد طول الوقت.

واكتشاف أن الكون يتمدد هو إحدى الثورات الثقافية العظيمة فى القرن العشرين. وبالتأمل وراء، فإن من السهل التعجب لأن أحدا لم يفكر فى ذلك من قبل: فقد كان ينبغى على نيوتن وغيره أن يتبينوا أن كوننا ستاتيكيًا لن يلبث أن يبدأ سريعا فى الانكماش بتأثير الجاذبية. ولكن لنفرض بدلا من ذلك أن الكون يتمدد. فلو كان يتمدد بسرعة بطيئة إلى حد ما، فإن قوة الجاذبية ستجعله فى النهاية يتوقف عن التمدد ليبدأ بعدها فى الانكماش. أما إذا كان يتمدد بسرعة أكبر من معدل خرج معين، فإن الجاذبية لن تكون قط قوية بما يكفى لوقف تمدده، وسوف يستمر الكون فى التمدد للأبد. وهذا يشبه، نوعا ما، ما يحدث عندما يطلق أحدهم من فوق سطح الأرض صاروخا لأعلى. فإذا كانت سرعته بطيئة إلى حد ما، فإن الجاذبية ستوقف الصاروخ فى النهاية وسيبدأ فى السقوط عائدا. ومن الجهة الأخرى، إذا كانت سرعة الصاروخ أكبر من سرعة حرجة معينة (حوالى سبعة أميال فى الثانية) فإن الجاذبية لا تكون قوية بما يكفى لشده إلى الورا، وهكذا فإنه سيستمر فى الانطلاق بعيدا عن الأرض إلى الأبد. وسلوك الكون هكذا كان يمكن التنبؤ به من نظرية نيوتن عن الجاذبية فى أى وقت من القرن التاسع عشر، أو الثامن عشر أو حتى أواخر القرن السابع عشر. إلا أن الإيمان بثبات الكون كان من القوة بحيث ظل باقيا لأوائل القرن العشرين. وحتى أينشتين عندما صاغ نظرية النسبية العامة فى ١٩١٥، فإنه كان واثقا من أن الكون يجب أن يكون استاتيكيًا حتى أنه عدل نظريته ليصبح ذلك ممكنا، فأدخل فى معادلاته ما سماه «الثابت الكوني». وقد أدخل أينشتين قوة جديدة هى «مضاد الجاذبية»، وهى بخلاف القوى الأخرى لا تأتى من أى مصدر معين، وإنما هى جبليّة فى صميم بنية المكان - الزمان. وزعم أن المكان - الزمان لديه نزعة جبليّة للتمدّد وأنّها يمكن أن تُجعل بحيث توازن بالضبط تجاذب كل المادة التى فى الكون، بحيث

ينتج كون استاتيكي. ويبدو أنه لم يكن هناك غير رجل واحد يريد أن يفهم النسبية العامة حسب معناها الظاهر، وبينما كان اينشتين وعلماء الفيزياء الآخرون يبحثون عن طرق للمادة ما تتنبأ به النسبية العامة من كون غير استاتيكي، فإن الفيزيائي والرياضي الروسي الكسندر فريدمان أخذ بدلا من ذلك يفسر الأمر.

افترض فريدمان فرضين بسيطين جدا عن الكون : أن الكون يبدو متماثلا في أى اتجاه تنظر فيه إليه، وأن هذا يصدق أيضا لوراقبنا الكون من أى مكان آخر. ومن هاتين الفكرتين وحدهما، بين فريدمان أننا ينبغي ألا نتوقع أن يكون الكون ثابتا. والحقيقة أن فريدمان تنبأ في ١٩٢٢ بما وجدته أدوين هابل بالضبط، وذلك قبل اكتشاف هابل بعدة أعوام!

ومن الواضح أن افتراض أن الكون يبدو متماثلا في كل اتجاه هو في الواقع غير حقيقي. فكما رأينا مثلا، فإن النجوم الأخرى في مجرتنا تشكل حزمة واضحة من الضوء عبر سماء الليل، تسمى درب التبانة. على أننا إذا نظرنا إلى المجرات البعيدة، فسوف يبدو أن لها عدد متماثل بدرجة أو أخرى. وهكذا فإن الكون يبدو فعلا متماثلا على وجه التقريب في كل اتجاه، بشرط أن ينظر المرء إليه على مقياس كبير بما يقارن بالمسافة بين المجرات، ويتجاهل ما يوجد من اختلافات على المقاييس الأصغر. وقد ظل هذا الزمن طويل مبررا كافيا لفرض فريدمان - بما هو شبه تقريب للكون الواقعي. على أنه حدث مؤخرا أن كشف حادث محظوظ عن حقيقة أن فرض فريدمان هو في الحقيقة توصيف لكوننا مضبوط إلى حد رائع.

ففي عام ١٩٦٥ كان أرنو بنزياس وروبرت ويلسون الفيزيائيان الأمريكيان بمعامل تليفون بل في نيوجيرسي، يقومان باختبار كشف حساس جدا لموجات الميكرويف (موجات الميكرويف هي تماما مثل موجات الضوء ولكن بدرجة ترددها هي فقط عشرة آلاف مليون موجة في الثانية). وقد انزعج بنزياس وويلسون حينما وجدا أن كشفاهما يلتقط ضوضاء أكثر مما ينبغي. ولم يكن يبدو أن الضوضاء تأتي من أى اتجاه بعينه. واكتشفا أول الأمر روث طيور في كشفاهما ثم اختبرا لأي أسباب أخرى لسوء الأداء، ولكنهما سرعان ما استبعدوا كل هذا. وكانا يعرفان أن أي ضوضاء تأتي من داخل الغلاف الجوي ستكون أقوى عندما يكون الكشف غير موجه مباشرة لأعلى مما كان عليه، ذلك أن أشعة الضوء عند تلقّيها من قرب الأفق تكون قد تحركت خلال الغلاف الجوي لمسافة أكبر كثيرا مما عند تلقّيها مباشرة من فوق الرأس. وكانت الضوضاء الزائدة متماثلة أينما كان الاتجاه الذي يشير إليه الكشف، وهكذا فإنها ولا بد تأتي من «خارج» الغلاف الجوي. وكانت الضوضاء أيضا متماثلة نهارا وليلة وخلال السنة كلها، رغم دوران الأرض حول محورها ودورانها حول الشمس. وهذا يبين أن الإشعاع أت ولا بد من وراء النظام الشمسي، بل ومن وراء المجرة، وإلا

فإنه كان سيتغير عندما توجه حركة الأرض الكشاف فى اتجاهات مختلفة. والحقيقة أننا نعرف أن هذا الإشعاع لا بد وأنه انتقل إلينا عبر معظم الكون القابل للرصد، ولما كان يبدو متماثلا فى الاتجاهات المختلفة فإن الكون أيضا ولا بد متماثل فى كل اتجاه، وذلك فقط على المقياس الكبير. ونحن نعرف الآن أنه أيا كان الاتجاه الذى ننظر إليه، فإن هذه الضوضاء لا تتغير أبدا بأكثر من جزء من العشرة آلاف - وهكذا فإن بنزياس وويلسون قد عثرا عن غير عمد على إثبات صحيح بصورة رائعة لفرض فريدمان الأول.

وفى نفس الوقت تقريبا كان الفيزيائيان الأمريكيان بوب ديك وجيم بيليز، فى جامعة برنستون القريبة، يبديان اهتماما بموجات الميكرويف. وكانا يبحثان فرضا لجورج جاموف (الذى كان فيما مضى طالبا لالكسندر فريدمان)، بأن الكون المبكر لا بد وأنه كان بالغ السخونة والكثافة، وأنه كان يتوهج بالحرارة حتى البياض. وقد حاج ديك وبيليز بأنه ينبغي أن يكون فى إمكاننا حتى الآن رؤية وهج الكون المبكر، لأن الضوء الآتى من أجزائه البعيدة جدا سيصلنا الآن فقط وحسب. على أن تعدد الكون يعنى أن هذا الضوء ينبغي أن يكون ذى إزاحة حمراء إلى حد عظيم بحيث أنه سيظهر لنا الآن كإشعاع من موجات الميكرويف. وكان ديك وبيليز يتأهبان للبحث عن هذا الإشعاع عندما سمع بنزياس وويلسون عن بحثهما فتبيننا أنهما قد عثرا عليه بالفعل. وقد كوفى بنزياس وويلسون على ذلك بجائزة نوبل فى ١٩٧٨ (مما يبدو صعبا بعض الشيء على ديك وبيليز، دع عنك جاموف!).

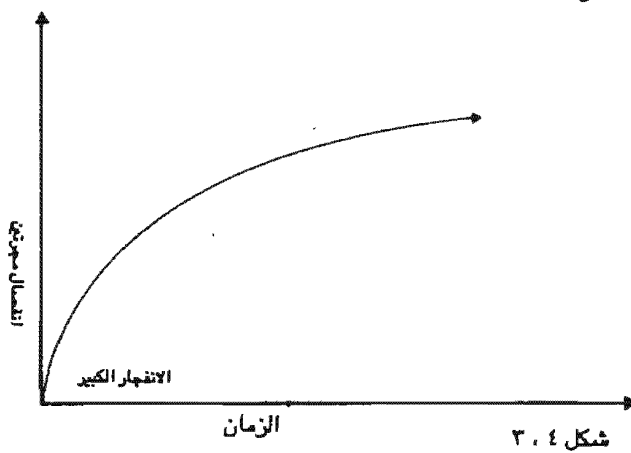
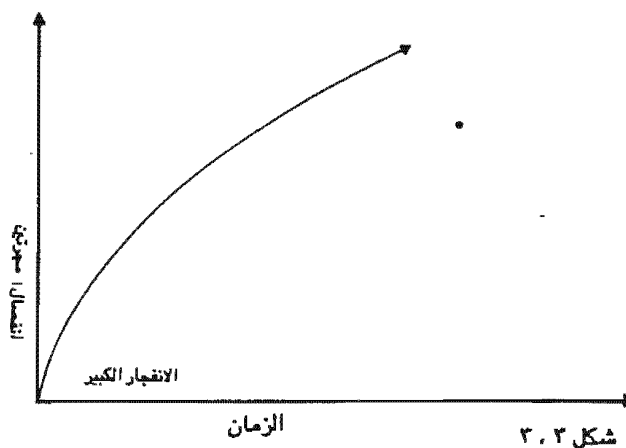
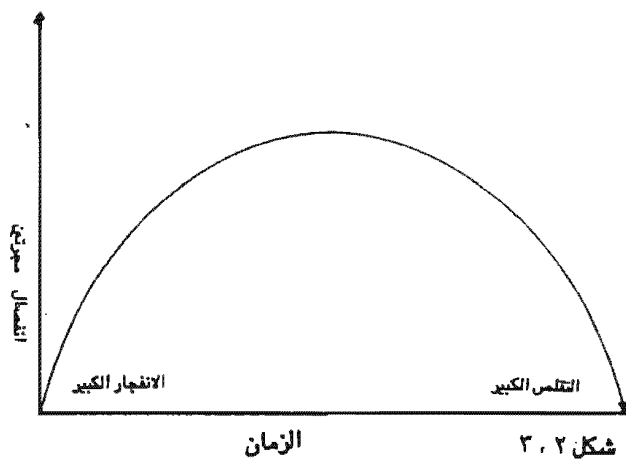
والآن، فللهولة الأولى فإن كل هذا الدليل على أن الكون يبدو متماثلا مهما كان الاتجاه الذى ننظر فيه قد يبدو وكأنه يطرح أن هناك شيئا ما خاصا فيما يتعلق بمكانتنا فى الكون. وقد يبدو بالذات، أننا عندما نلاحظ أن كل المجرات الأخرى تتحرك بعيدا عنا، فإننا إنن ولا بد فى مركز الكون. على أن هناك تفسيرا بديلا : فقد يبدو الكون متماثلا فى كل اتجاه إذا نظرنا إليه أيضا من أى مجرة أخرى. وهذا، كما قد رأينا، هو فرض فريدمان الثانى. وليس لدينا دليل علمى يؤكد هذا الفرض أو ينفيه. ونحن نؤمن به وحسب على أسس من التواضع: كم سيكون الأمر بالغ الروعة لو كان الكون يبدو متماثلا فى كل اتجاه من حولنا، ولكن ليس من حول النقاط الأخرى فى الكون! وفى نموذج فريدمان، تتحرك كل المجرات مباشرة إحداها بعيدا عن الأخرى. والموقف يكاد يشبه بالونة قد نثر عليها عدد من البقع، وهى تنفخ بإطراد. وإذا التمدد بالالونة، فإن المسافة بين أى بقعتين تزداد، ولكن ما من بقعة يمكن القول بأنها مركز التمدد. وفوق ذلك، فكلما تباعدت البقع، زادت سرعة تحركها فى تباعد. وبالمثل، فإنه فى نموذج فريدمان تكون السرعة التى تتحرك بها أى مجرتين فى تباعد متناسبة مع المسافة بينهما. وهكذا فإنه يتنبأ بأن الإزاحة الحمراء لإحدى

المجرات ينبغي أن تتناسب طرديا مع مسافة المجرة منا، وهو ما وجد هابل بالضبط. ورغم نجاح نموذج فريدمان وتنبؤه بمشاهدات هابل، فإن عمل فريدمان ظل مجهولا على نطاق واسع في الغرب حتى تم اكتشاف نماذج مماثلة عام ١٩٢٥ بواسطة الفيزيائي الأمريكي هوارد روبرتسون والرياضي البريطاني أرثر إي. إدموند، كرد فعل لاكتشاف هابل أن الكون يتمدد تمدا متسقا.

ورغم أن فريدمان اكتشف فقط نموذجا واحدا، فإن هناك في الحقيقة ثلاثة أنواع مختلفة من النماذج تخضع لفرضي فريدمان الأساسيين. وفي النوع الأول (الذي اكتشفه فريدمان) يتمدد الكون بسرعة بطيئة بما يكفي لأن يسبب شد الجاذبية بين المجرات المختلفة إبطاء التمدد حتى يتوقف في النهاية. ثم تبدأ المجرات في التحرك إحداها نحو الأخرى وينكمش الكون. وشكل ٢، ٣ يبين كيف تتغير المسافة بين مجرتين متجاورتين كلما طال الزمن. وتبدأ المسافة بصفر، وتزيد لتصل إلى حد أقصى، ثم تنقص إلى الصفر ثانية. وفي النوع الثاني من الحلول، يتمدد الكون بسرعة بحيث أن شد الجاذبية لا يستطيع قط إيقاف التمدد، وإن كان فعلا يبطئه نوعا. وشكل ٣، ٤ يبين التباعد بين المجرات المتجاورة في هذا النموذج. وهو يبدأ عند الصفر وفي النهاية تتحرك المجرات متباعدة بسرعة مطردة. وأخيرا فهناك نوع ثالث من الحلول، يتمدد فيه الكون بسرعة تكفي فقط لتجنب العودة إلى التقلص. وفي هذه الحالة فإن التباعد كما يبينه شكل ٣، ٤ يبدأ أيضا بصفر ثم يتزايد أبدا. على أن السرعة التي تتحرك بها المجرات متباعدة تصبح أصغر وأصغر، وإن كانت لا تصل قط إلى الصفر تماما.

ومن الملاحظ البارزة للنوع الأول من نموذج فريدمان أن الكون ليس باللامتناهي في المكان، على أن المكان ليس له أي حد. فالجاذبية يبلغ من قوتها أن ينحني المكان على نفسه، بما يجعله يشبه نوعا سطح الأرض. وعندما يداوم المرء على التحرك في اتجاه معين على سطح الأرض، فإنه لا يلقى إزاحة قط عقبه من حاجز لا يمكن المرور منه، ولا يهوى من فوق حواف، وإنما هو يصل ثانية إلى حيث بدأ. وفي نموذج فريدمان الأول، فإن المكان يشبه ذلك تماما، ولكنه بثلاثة أبعاد بدلا من بعدين كما لسطح الأرض. والبعد الرابع، الزمان، هو أيضا متناه في مداه، ولكنه يشبه خطا له طرفان أو حدان، بداية ونهاية. وسوف نرى فيما بعد أنه عندما يجمع المرء النسبية العامة مع مبدأ عدم اليقين في ميكانيكا الكم. يصبح من الممكن لكل من المكان والزمان أن يكونا متماهين بون أي أحرف أو حدود.

وفكرة أن المرء يمكن أن يدور مباشرة حول الكون لينتهي إلى حيث بدأ فيها ما يصلح لرؤية علمية جيدة، ولكن ليس لها دلالة عملية كبيرة، لأن من الممكن إضاح أن الكون سينتقلص ثانية إلى حجم الصفر قبل أن يتمكن المرء من الدوران حوله. وسوف تحتاج إلى أن تنتقل بسرعة أسرع من



الضوء حتى تصل إلى حيث بدأت قبل أن يأتى الكون إلى نهايته - وهذا ليس مسموحا به؛

وفى النوع الأول من نموذج فريدمان، الذى يتمدد ثم يتقلص ثانية، يكون المكان منحنيا على نفسه، مثل سطح الأرض. وبهذا فإنه متناه فى مدها. وفى النوع الثانى من النموذج كالأذى يتمدد إلى الأبد، فإن المكان ينحنى للناحية الأخرى، مثل سطح السرج. وفى هذه الحالة، يكون المكان إذن غير متناه. وأخيرا، فى النوع الثالث من نموذج، فريدمان، الذى تكون سرعته فى التمدد هى السرعة الحرجة بالضبط، فإن المكان يكون مسطحا (وإنن فهو أيضا لا متناه).

ولكن أى نماذج فريدمان هو الذى يوصف كوننا؟ هل سيتوقف الكون فى النهاية عن التمدد ويبدأ فى الانكماش، أو هل سيعتمد إلى الأبد؟ للإجابة عن هذا السؤال نحتاج إلى أن نعرف سرعة تمدد الكون الحالية، ومتوسط كثافته الحالية. فإذا كانت الكثافة أقل من قدر حرج معين، يتحدد بمعدل التمدد، فإن شد الجاذبية سيكون أضعف من أن يوقف التمدد. وإذا كانت الكثافة أكبر من القدر الحرج، فإن الجاذبية سوف توقف التمدد فى وقت ما فى المستقبل وتسبب تقلص الكون ثانية.

ونحن نستطيع تحديد المعدل الحالى للتمدد بقياس السرعات التى تتحرك بها المجرات الأخرى مبتعدة عنا، مستخدمين ظاهرة دوبلر. ويمكن إنجاز ذلك على نحو دقيق جدا. على أن المسافات بين المجرات ليست معروفة على نحو جيد جدا لأننا لا نستطيع قياسها إلا بطرق غير مباشرة. وهكذا فإن كل ما نعرفه هو أن الكون يتمدد بما يتراوح بين ٥-١٠ فى المائة فى كل ألف مليون سنة. على أن ما لدينا من عدم يقين بشأن متوسط كثافة الكون حاليا لهر الأعظم. وإذا جمعنا كتل كل النجوم التى يمكننا رؤيتها فى مجرتنا والمجرات الأخرى، فإن المجموع يقل عن واحد فى المائة من القدر المطلوب لإيقاف تمدد الكون، حتى بالنسبة لأدنى تقدير لسرعة التمدد. على أن مجرتنا والمجرات الأخرى تحوى ولا بد قدرا كبيرا من «المادة المظلمة»، التى لا يمكننا رؤيتها مباشرة، وإنما نعرف أنها يجب أن تكون موجودة بسبب تأثير شد جاذبيتها على أفلاك النجوم فى المجرات. وبالإضافة، فإن معظم المجرات توجد فى تجمعات عنقودية، ويمكننا بالمثل استنتاج وجود مزيد من المادة المظلمة فيما بين المجرات التى فى هذه العناقيد، وذلك بواسطة تأثيرها على حركة المجرات. وإذا جمعنا كل هذه المادة المظلمة فإننا لا نحصل بعد إلا على حوالى عُشر القدر المطلوب لوقف التمدد. على أننا لا نستطيع استبعاد إمكانية وجود شكل آخر للمادة، يتوزع بما يكاد يكون توزيعا متسقا على الكون كله، شكل لم نكتشفه بعد هو مع ذلك مما قد يرفع متوسط كثافة الكون إلى القيمة الحرجة اللازمة لإيقاف التمدد. وإنن فإن ما لدينا الآن من دليل يدل على أن الكون ربما سوف يتمدد إلى الأبد، إلا أن كل ما يمكننا الوثوق منه حقا هو أنه حتى لو كان

الكون سينقلص ثانية، فإنه لن يفعل ذلك لمدة تصل على الأقل إلى عشرة آلاف مليون سنة أخرى، حيث أنه ظل يعتمد من قبل لزمن يبلغ على الأقل هذا الطول. وينبغي ألا يزعمنا ذلك بغير داع: فبعد مرور هذا الوقت، ما لم تكن قد استعمرنا ما وراء النظام الشمسى، فإن الجنس البشرى سيكون قد فنى منذ زمن طويل، إذ يندثر مع شمسنا!

وكل حلول فريدمان فيها الملح بأنه فى وقت ما من الماضى (منذ ما بين عشرة إلى عشرين ألف مليون سنة) كانت المسافة بين المجرات المتجاورة هى ولا بد صفراً. وفى هذا الوقت، الذى نسميه الانفجار الكبير، كانت كثافة الكون ومنحنى المكان - الزمان لا متناهيين. ولما كانت الرياضيات لا تستطيع فى الواقع تناول الأرقام اللانهائية، فإن هذا يعنى أن نظرية النسبية العامة (التي تأسست عليها حلول فريدمان) تتنبأ بأن ثمة نقطة فى الكون تنهار عندها النظرية نفسها. وهذه النقطة هى مثل لما يسميه الرياضيون بالمفردة Singularity. والحقيقة أن كل نظريتنا العلمية قد صيغت على فرض أن الزمان - المكان مستو ويكاد يكون مسطحاً. وهكذا فإنها تنهار عند مفردة الانفجار الكبير، حيث يكون منحنى المكان - الزمان لا متناه. ويعنى هذا أنه حتى لو كانت هناك أحداث قبل الانفجار الكبير، فإن المرء لا يستطيع استخدامها لتحديد ما سيحدث بعدها، لأن القدرة على التنبؤ تنهار عند الانفجار الكبير. وبالمقابل، إذا كنا نعرف فقط، كما هو الحال فعلاً، ما قد حدث منذ الانفجار الكبير، فإننا لا نستطيع أن نحدد ما حدث قبل ذلك. ويقدر ما يخصنا، فإذا الأحداث قبل الانفجار الكبير لا يمكن أن يكون لها نتائج، وهكذا فإنها ينبغي ألا تشكل جزءاً من أى نموذج علمى عن الكون. وإن يبغي أن نحذفها من النموذج ونقول إن الزمان له بداية عند الانفجار الكبير.

وثمة أناس كثيرون لا يحبذون فكرة أن الزمان له بداية، وربما كان ذلك لأن فيها مجالاً لتدخل ميتافيزيقى. وهكذا كان هناك عدد من المحاولات لتجنب استنتاج أنه كان ثمة انفجار كبير. وكان الاقتراح الذى حاز أوسع تأييد هو ما يسمى نظرية استقرار الحال. وقد طرحها فى ١٩٤٨ اثنتان من اللاجئين من النمسا أثناء احتلال النازيين لها، وهما هرمان بوندى وتوماس جولد ومعهما البريطانى فريد هويل، الذى كان يعمل معهما على إنشاء الرادار أثناء الحرب. والفكرة هى أنه أثناء تحرك المجرات مبتعدة إحداها عن الأخرى، تتكون باستمرار مجرات جديدة فى الفراغات التى بينها، وذلك من مادة جديدة تُخلق باستمرار. وهكذا فإن الكون سيبدو تقريباً متماثلاً فى كل الأوقات وعند كل نقط المكان. وقد تطلبت نظرية استقرار الحال تعديلاً للنسبية العامة حتى تسمح بخلق متواصل للمادة، إلا أن المعدل المستخدم هو من البطء (حوالى جسيم لكل كيلومتر مكعب لكل سنة) بحيث أنه لا يتعارض والتجربة. وكانت هذه نظرية علمية جيدة، بالمعنى الذى وصفناه فى

الفصل الأول : فهي بسيطة وتقدم تنبؤات محددة يمكن اختبارها بالملاحظة. وإحدى هذه التنبؤات هي أن عدد المجرات أو الأشياء المماثلة في أى حجم معين من الفضاء ينبغي أن يكون نفس العدد في أى مكان وأى زمان ننظر فيه للكون. وفي أواخر الخمسينيات وأوائل الستينيات من هذا القرن، تم في كمبردج مسح لمصادر موجات الراديو من الفضاء الخارجى بواسطة مجموعة من الفلكيين يقودهم مارتن رايل (الذى عمل أيضا مع بوندى على الرادار أثناء الحرب، هو وجولد، وهويل). وبينت مجموعة كمبردج أن معظم مصادر الراديو هذه لا بد وأن تقع خارج مجرتنا (والحقيقة أن الكثير منها أمكن تطابقه على المجرات الأخرى). وأنه أيضا يوجد من المصادر الضعيفة ما هو أكثر كثيرا من المصادر القوية. وقد فسروا المصادر الضعيفة بأنها الأكثر بعدا، والقوية بأنها الأقرب. ثم بدا أنه بالنسبة لكل وحدة حجم من الفضاء تكون المصادر القريبة أقل شيوعا من البعيدة. وهذا يمكن أن يعنى أننا فى المركز من منطقة هائلة من الكون المصادر فيها أقل مما فى أى مكان آخر. وبدلا من ذلك فإنه يمكن أن يعنى أنه فى الماضى وقت أن رحلت موجات الراديو فى طريقها إلينا، كانت المصادر أكثر عددا مما هى عليه الآن. وأى من التفسيرين يتناقض وتنبؤات نظرية الحال المستقر. وبالإضافة، فإن اكتشاف إشعاع موجات الميكرويف بواسطة بنزيانسن وويلسون فى ١٩٦٥ قد بين أيضا أن الكون كان ولا بد أكثر كثيرا فى الماضى. وهكذا لزم أن تُنبذ نظرية الحال المستقر.

وفى عام ١٩٦٣ قام العالمان الروسيان إفجينى ليفشستز واسحق خالاتنكوف بمحاولة أخرى لتجنب استنتاج أنه لا بد وأن كان هناك انفجار كبير، وبالتالى بداية للزمان. وقد اقترحا أن الانفجار الكبير قد يكون خاصية لنماذج فريدمان وحدها، التى هى رغم كل شئ مجرد تقريبات للكون الحقيقى. ولعل الأمر أنه من بين كل النماذج التى تشبه بالتقريب الكون الحقيقى، فإن نماذج فريدمان وحدها هى التى تحوى مفردة الانفجار الكبير. والمجرات فى نماذج فريدمان تتحرك كلها وإحداها تتباعد عن الأخرى مباشرة - وإن فليس غريبا أنها فى وقت ما من الماضى كانت كلها فى نفس المكان. على أن المجرات فى الكون الحقيقى تتحرك ليس فحسب للتباعد مباشرة إحداها عن الأخرى - وإنما لها أيضا سرعات صغيرة جانبية. وهكذا فإنها فى الواقع لا يلزمها قط أن تكون كلها فى نفس المكان بالضبط، وإنما هى فحسب تتقارب معا تقاربا وثيقا. وإن فإن الكون الذى يتمدد حاليًا ربما نتج لا عن مفردة انفجار كبير وإنما عن طور انكماش أقدم؛ وأثناء تقلص الكون فُلعل ما فيه من جسيمات لم تتصامم قط، وإنما انسابت أحدها عبر الأخر ثم بعيدا عنه، لتحث التمدد العالى فى الكون. كيف إذن يمكننا أن نعرف ما إذا كان ينبغي أن الكون الحقيقى قد بدأ بانفجار كبير؟ إن ما فعله ليفشستز وخالاتنكوف هو أنهما درسا نماذج للكون تشبه تقريبا

نماذج فريدمان ولكنها تأخذ في الحسبان أوجه عدم انتظام المجرات والعشوائية في سرعاتها في الكون الحقيقي. وقد بينا أن نماذج كهذه يمكن أن تبدأ بانفجار كبير، حتى وإن كانت المجرات لا تتحرك بعد دائما للتباعد إحداها مباشرة عن الأخرى، إلا أنهما زعما أن هذا يبقى ممكنا فحسب في نماذج استثنائية معينة حيث المجرات كلها تتحرك بالطريقة الصحيحة بالضبط. وقد احتجا بأنه حيث يبدو أن هناك عددا من النماذج المشابهة لنماذج فريدمان من غير مفردة الانفجار الكبير هو عدد أكبر بما لا نهاية له من النماذج ذات الانفجار، فإنه ينبغي أن نستنتج أنه لم يكن في الواقع ثمة انفجار كبير. على أنهما تبينا فيما بعد أن هناك انتشارا أوسع كثيرا للنماذج الشبيهة بنماذج فريدمان التي فيها مفردات بالفعل، والتي ليس على المجرات فيها أن تتحرك بأي أسلوب خاص، وهكذا فإنهما سحبنا زعمهما في ١٩٧٠.

وبحث ليفشترز وخالاتكوف كان له قيمته لأنه بيّن أن الكون «يمكن» أن تكون له مفردة، هي الانفجار الكبير، إذا كانت نظرية النسبية العامة صحيحة. إلا أن هذا البحث لم يصل إلى حل السهل العويص: هل تتبنا النسبية العامة بأنه «ينبغي» أن يكون لكوننا انفجار كبير، بداية للزمن؟ وقد أتت الإجابة عن ذلك من تناول مختلف تماما أدخله في عام ١٩٦٥ الرياضي والفيزيائي البريطاني روجر بنروز. فهو باستخدام الطريقة التي تسلك بها مخروطات الضوء في النسبية العامة مع حقيقة أن الجاذبية دائما تجذب، قد بين أن النجم الذي يتقلص بتأثير جاذبيته هو نفسه، ينحصر في منطقة ينكمش سطحها في النهاية إلى حجم الصفر. ولما كان سطح المنطقة ينكمش إلى الصفر، فإن حجمها أيضا لا بد أن ينكمش هكذا. وتصبح كل المادة التي في النجم مضغوطة في منطقة حجمها صفرا، وهكذا فإن كثافة المادة ومنحنى المكان - الزمان يصبحان لا متناهيين. وبكلمات أخرى يكون عند المرء مفردة محتواة من داخل منطقة من المكان - الزمان تعرف بالثقب الأسود.

والأول وهلة، فإن نتيجة بنروز تنطبق فقط على النجوم؛ فهي لا تقول شيئا عن مسألة إذا كان للكون بأكمله مفردة انفجار كبير في ماضيه. على أنه في الوقت الذي أنتج فيه بنروز نظريته، كنت أنا طالب بحث أنقب يأسا عن مشكلة أكمل بها بحثي لدكتوراه الفلسفة. وكنت قبل عامين قد شُخصت على أنني أعاني من ضمور العضلات بالتليف الجانبي، الذي يعرف في الشائع باسم مرض لوجيريج، أو مرض العصبية الحركية، وأفهمت أنني سأعيش لما لا يزيد عن عام أو عامين. وفي ظروف كهذه لم يكن يبدو أن هناك فائدة كبيرة في العمل في بحثي للدكتوراه - فما كنت أتوقع أنني سأبقى حيا لزمع يطول هكذا. على أنه مر عامان ولم أصبح أسوأ حالا بكثير. والحقيقة أن الأمور كانت تسير بما يكاد يكون سيرا حسنا بالنسبة لي. وتمت خطبتي إلى فتاة فاضلة جدا، هي جين

وايلد. ولكنى حتى أنال الزواج كنت فى حاجة إلى وظيفة. وحتى أنال الوظيفة خنت فى حاجة إلى الدكتوراه.

وفى ١٩٦٥ قرأت عن نظرية بنروز من أن أى جسم يخضع للتقلص بالجاذبية يجب فى النهاية أن يكون مفردة. وسرعان ما تبين أن المرء لو عكس اتجاه الزمان فى نظرية بنروز، بحيث يصبح التقلص تمعدا، فإن شروط نظريته تظل صالحة، بفرض أن الكون مشابه بالتقريب لنموذج فريدمان بالمقاييس الكبيرة فى الوقت الحالى. ونظرية بنروز قد بينت أن أى نجم يتقلص «يجب» أن ينتهى بمفردة؛ ومحاكاة الزمن المعكوس تبين أن أى كون متمدد مشابه لكون فريدمان «يجب» أن يكون قد بدأ بمفردة. ولأسباب تقنية، تتطلب نظرية بنروز أن يكون الكون لا متناهى فى المكان. وهكذا فقد أمكننى فى الحقيقة استخدامها لإثبات أن المفردة لا تكون مما ينبغى إلا لو كان الكون يعتمد بالسرعة الكافية لتجنب تقلصه ثانية (حيث أن هذا النوع من نماذج فريدمان هو الوحيد اللامتناهى فى المكان).

وأثناء السنوات القليلة التالية أنشأت تقنيات رياضية جديدة لأتطلب على هذا هو وغيره من الشروط التقنية فى النظريات التى تثبت أن المفردات يجب أن تقع. وكانت النتيجة النهائية هى ورقة بحث مشتركة - لبنروز ولى فى عام ١٩٧٠، أثبتت فى النهاية أنه لا بد من أن مفردة انفجار كبير كانت موجودة، وذلك مشروط فقط بأن تكون النسبية العامة صحيحة وأن يحوى الكون من المادة قدر ما نلاحظ. وكان ثمة معارضة كثيرة لبحثنا، كانت فى جزء منها من الروس بسبب إيمانهم الماركسى بالاحتمية العلمية. وفى جزء آخر من أناس يحسون أن فكرة المفردات كلها فكرة منفردة تقسد جمال نظرية أينشتاين. على أن الواحد لا يستطيع حقا أن يجادل نظرية رياضية. وهكذا فإن عملنا أصبح فى النهاية مقبولا بصورة عامة وأصبح كل فرد تقريبا فى يومنا هذا يفترض أن الكون قد بدأ بمفردة انفجار كبير. ولعل، مما يثير السخرية أننى وقد غيرت رأى، فإنى أحاول الآن إقناع الفيزيائيين الآخرين بأنه لم يكن هناك فى الحقيقة مفردة عند بدأ الكون - وكما سنرى فيما يلى، فإن المفردة يمكن أن تختفى ما إن تؤخذ تأثيرات الكم فى الحسبان.

ها قد رأينا فى هذا الفصل، كيف تغيرت فى أقل من نصف القرن نظرة الإنسان للكون التى تكونت عبر آلاف السنين. إن اكتشاف هابل أن الكون يتمدد، وتبين عدم أهمية كوكبنا فى الكون الفسيح، كانا فقط نقطة البداية. ومع تراكم الدليل التجريبي والنظري، أصبح من الواضح أكثر وأكثر أن الكون له لا بد بداية فى الزمان، حتى تمت البرهنة على ذلك نهائيا فى ١٩٧٠ بواسطة بنروز وإيلى، على أساس نظرية أينشتاين للنسبية العامة. وقد بين هذا البرهان أن النسبية العامة هى وحسب نظرية منقوصة : فهى لا تستطيع أن تخبرنا بكيفية ابتداء الكون، لأنها تتنبأ بأن

كل النظريات الفيزيائية، بما فيها هي ذاتها، تنهار عند بدء الكون. على أن النسبية العامة تعلن أنها مجرد نظرية جزئية، وهكذا فإن ما تظهره في الحقيقة نظريات المفردة أنه لا بد وأن كان هناك وقت للكون المبكر جدا كان الكون فيه صغيرا جدا، بحيث أن المرء لا يستطيع بعد أن يتجاهل تأثيرات المقاييس الصغيرة لنظرية ميكانيكا الكم، وهي النظرية الجزئية العظيمة الأخرى في القرن العشرين. وهكذا أجبرنا مع بداية السبعينيات على أن نحول بحثنا عن فهم للكون من نظريتنا عما هو كبير إلى حد خارق إلى نظريتنا عما هو دقيق الصغر إلى حد خارق. وهذه النظرية، ميكانيكا الكم سيتم توصيفها فيما يلي، قبل أن نحول جهودنا إلى جمع النظريتين الجزئيتين في نظرية واحدة لكم الجانبية.



مبدأ عدم اليقين

كان من نجاح النظريات العلمية، وخاصة نظرية نيوتن عن الجاذبية، أن أدى ذلك بالعالم الفرنسي الماركيز لابلاس إلى أن يحاج في بداية القرن التاسع عشر بأن الكون محتّم بالكامل. واقتراح لابلاس أنه ينبغي أن يكون ثمة مجموعة من القوانين التي تسمح لنا بالتنبؤ بأي شيء سيحدث في الكون، لو أننا فقط عرفنا الحالة الكاملة للكون عند وقت معين. وكمثل، فلو عرفنا مواضع وسرعات الشمس والكواكب عند وقت معين، فسنتمكن إذن من استخدام قوانين نيوتن لحساب حالة النظام الشمسي في أي وقت آخر. وتبدو الحتمية في هذه الحالة واضحة نوعا، ولكن لابلاس يعمى لأبعد مفترضا أن ثمة قوانين مشابهة تحكم كل شيء آخر بما فيه سلوك الإنسان.

ومذهب الحتمية العلمية قاومه الكثيرون بشدة ممن أحسوا أنه يتعدى على الحرية الإلهية في التدخل في العالم، على أن المذهب ظل هو الفرض العلمي القياسي حتى السنوات الأولى من هذا القرن. وأتى أحد أول المؤشرات على وجوب التخلي عن هذه العقيدة عندما بينت الحسابات التي قام بها العالمان البريطانيان لورد رايلي وسير جينس أن الشيء أو الجسم الساخن من مثل النجم، يجب أن يشع الطاقة بمعدل لا متناه. وحسب القوانين التي كنا نؤمن بها آنذاك، فإن الجسم الساخن ينبغي أن يبعث موجات كهرومغناطية (مثل موجات الراديو، أو الضوء المرئي، أو أشعة إكس) بقدر متساوي عند كل الترددات. وكمثل، فإن الجسم الساخن ينبغي أن يشع قدر الطاقة نفسه في الموجات التي يكون ترددها بين مليون مليون ومليون مليون موجة في الثانية، مثلما يشعه في الموجات التي يكون ترددها بين مليون مليون وثلاثة مليون مليون موجة في الثانية. والآن، فحيث أن عددا للموجات في الثانية غير محدود، فإن هذا سيعني أن الطاقة الكلية التي تُشع ستكون لا متناهية.

وحتى يمكن تجنب هذه النتيجة المضحكة بصورة واضحة، اقترح العالم الألماني ماكس بلانك

فى ١٩٠٠ أن الضوء، وأشعة إكس والموجات الأخرى لا يمكن أن تُثبت بمعدل تعسفى، وإنما هى تُثبت فقط فى حزمات معينة أسماها الكمّات. وفوق ذلك فإن كل كم له قدر معين من الطاقة يكون أعظم كلما علا تردد الموجات، وهكذا فإنه عند علو التردد بما يكفى فإن بث كم واحد سوف يتطلب طاقة أكبر مما كان متاحا. وهكذا فإن الإشعاع عند الترددات العالية سوف يقل، وهكذا فإن المعدل الذى يفقد به الجسم الطاقة سيكون متناهما.

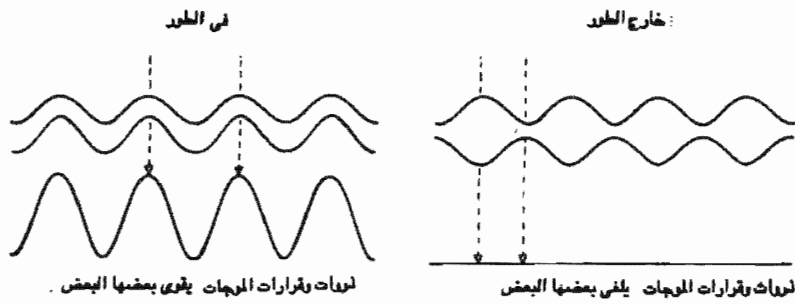
وفرض الكم قد فسر المعدل الملاحظ لبث الإشعاع من الأجسام الساخنة تسيرا جيدا جدا، على أنه لم يتم تبين دلالاته بالنسبة للحتمية حتى ١٩٢٦، عندما قام عالم المانى آخر، هو فرنر هايزنبرج بصياغة مبدأه الشهير لعدم اليقين. فحتى يتنبأ المرء بموضع جسيم وسرعته فى المستقبل، يكون على المرء أن يتمكن من قياس موضعه وسرعته الحالين بدقة. والطريقة الواضحة لفعل ذلك هى بتسليط ضوء على الجسيم. وسوف تتشتت بعض موجات الضوء بواسطة الجسيم وسيدل هذا على موضعه. على أن المرء لن يستطيع أن يحدد موضع الجسيم بما هو أدق من المسافة بين ذروات موجات الضوء، وهكذا فإن المرء يحتاج إلى استخدام ضوء له طول موجة قصير حتى يقيس موضع الجسيم بدقة. والآن، فإنه حسب فرض كم بلانك، لا يستطيع المرء استخدام قدر من الضوء يكون صغيرا على نحو تعسفى؛ فعلى المرء أن يستخدم على الأقل كمّا واحدا. وهذا الكم سيجعل الجسيم مضطرب ويغير من سرعته بطريقة لا يمكن التنبؤ بها. وفوق ذلك فكلما زادت الدقة التى يقيس بها المرء الموضع، قُصُرَ طول موجة الضوء التى يحتاجها المرء وبالتالي زادت طاقة الكم المفرد. وهكذا فإن سرعة الجسيم ستضطرب بقدر أكبر. وبكلمات أخرى كلما زادت دقة محاولتك لقياس موضع الجسيم قُلَّت الدقة التى تقيس بها سرعته، والعكس بالعكس. ويبيّن هايزنبرج أن عدم اليقين فى موضع الجسيم مضروبا فى عدم اليقين فى سرعته مضروبا فى كلته لا يمكن أن يكون أصغر من قدر معين، يعرف باسم ثابت بلانك. وفوق ذلك فإن هذا الحد لا يعتمد على الطريقة التى يحاول بها المرء قياس موضع أو سرعة الجسيم، ولا على نوع الجسيم : فمبدأ عدم اليقين عند هايزنبرج هوخاصية أساسية للعالم لا مفر منها.

ومبدأ عدم اليقين له دلالات عميقة بالنسبة للطريقة التى نرى بها العالم. وحتى بعد أكثر من خمسين عاما فإن الكثيرين من الفلاسفة لم يقدروا بعد هذه الدلالات حق قدرها، وهى ما زالت موضع الكثير من الخلاف. وقد أعطى مبدأ عدم اليقين الإشارة لنهاية حلم لابلاس بنظرية علمية، أو نموذج للكون يكون حتميا بالكلية؛ ومن المؤكد أن المرء لا يستطيع التنبؤ بأحداث المستقبل بالضبط ما دام لا يستطيع حتى أن يقيس بدقة الوضع الحالى للكون! وقد أدى هذا التناول إلى أن قام هايزنبرج، وإروين شرودنجر، وبول ديراك فى العشرينيات من هذا القرن بإعادة صياغة الميكانيكا

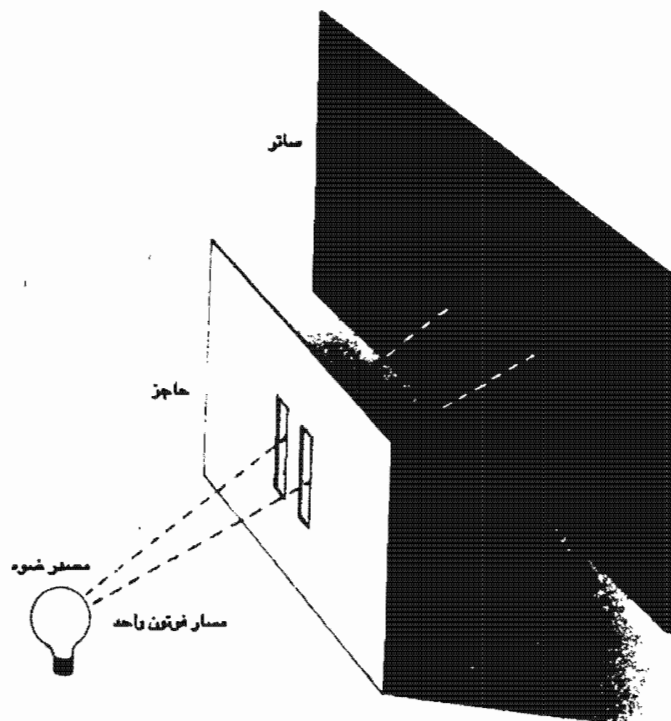
فى نظرية جديدة سميت ميكانيكا الكم، تتأسس على مبدأ عدم اليقين. والجسيمات فى هذه النظرية لم يعد لديها بعد مواضع وسرعات منفصلة واضحة التحدد لا يمكن ملاحظتها. وبدلاً من ذلك فإن لديها حالة كم، هى توليفة من الموضع والسرعة.

وعموماً، فإن ميكانيكا الكم لا تتنبأ بنتيجة وحيدة محددة لمشاهدة ما، وبدلاً من ذلك فإنها تتنبأ بعدد من النتائج الممكنة المختلفة وتخبرنا بمدى احتمال كل واحدة منها. بمعنى، أنه إذا قام المرء بالقياس نفسه على عدد كبير من أنسقة متماثلة، كل منها قد بدأ منطلقاً بالطريقة نفسها، فسيجد المرء أن نتيجة القياس تكون أ فى عدد معين من الحالات، و ب فى عدد مختلف وهلم جرا. ويمكن للمرء أن يتنبأ بالعدد التقريبي للمرات التى تكون النتيجة فيها أ أو ب، ولكن لا يمكن للمرء أن يتنبأ بنتيجة محددة لقياس فردى. فميكانيكا الكم تُدخل إذن فى العلم عنصراً لا يمكن تجنبه من العشوائية أو عدم إمكان التنبؤ. وقد عارض أينشتين هذا معارضة قوية جداً، رغم الدور المهم الذى قام به فى نشأة هذه الأفكار. وقد مُنح أينشتين جائزة نوبل لمساهمته فى نظرية الكم. ومع هذا فإن أينشتين لم يتقبل قط أن يكون الكون محكوماً بالصدفة، على أن معظم العلماء كانوا على استعداد لتقبل ميكانيكا الكم لأنها تتفق تماماً مع التجربة. والحقيقة أنها نظرية ناجحة على نحو رائع وهى تدخل فى أساس كل العلم والتكنولوجيا الحديثة تقريباً. وهى تتحكم فى سلوك الترانزستور والدوائر المتكاملة، تلك العناصر الرئيسية فى الأدوات الإلكترونية مثل التليفزيونات والكمبيوترات، وهى أيضاً أساس الكيمياء والبيولوجيا الحديثين. والمجالات الوحيدة فى العلم الفيزيائى التى لم تُدمج بعد فيها ميكانيكا الكم على نحو لائق هى الجاذبية وبنية الكون بالمقياس الكبير.

ورغم أن الضوء مصنوع من موجات، إلا أن فرض كم بلانك يخبرنا أنه من بعض الوجوه يسلك وكأنه مكون من جسيمات : فهو يُبعث أو يُمتص فقط فى حزمات، أو كمات، وبالمثل، فإن مبدأ عدم اليقين عند هايزنبرج يدل على أن الجسيمات تسلك من بعض الوجوه مثل الموجات : فليس لها موضع محدد، وإنما هى «تتفرش» بتوزيع له احتمال معين. ونظرية ميكانيكا الكم قد تأسست على نوع جديد بالكلية من الرياضيات لم يعد بعد يوصف العالم الحقيقى بحدود من الجسيمات والموجات؛ فمشاهدات العالم هى وحدها التى قد تُوصف بهذه الحدود. وهكذا فإن ثمة ازدواجية بين الموجات والجسيمات فى ميكانيكا الكم: فمن المفيد لأغراض معينة تصور الجسيمات كموجات ولأغراض أخرى يكون من الأفضل تصور الموجات كجسيمات. وإحدى النتائج المهمة لذلك هى أن المرء يستطيع أن يلاحظ ما يسمى بالتداخل بين مجموعتين من الموجات أو الجسيمات. أى أن نروات مجموعة من الموجات قد تتطابق مع قرارات مجموعة أخرى. وهكذا فإن مجموعتى الموجات ستلقى إحداها الأخرى، بدلاً من أن تتضايق إلى موجة أقوى كما قد يتوقع المرء (شكل ١. ٤).



شكل ١ ، ٤



شكل ٢ ، ٤

ومن الأمثلة المألوفة للتداخل في حالة الضوء تلك الألوان التي كثيرا ما نراها في فقاعات الصابون. فهذه الألوان تنجم عن انعكاس الضوء من جانبي غشاء الماء الرقيق الذي يكون الفقاعة. والضوء الأبيض يتألف من موجات ضوء من كل الأطوال أو الألوان المختلفة. وبالنسبة لأطوال معينة

من الموجات فإن ذروات الموجات المنعكسة من أحد جانبي غشاء الصابون تتطابق مع قرارات الموجات المنعكسة من الجانب الآخر. وهكذا فإن الألوان المناظرة لهذه الأطوال تغيب عن الضوء المنعكس، وبهذا فإنه يبدو ملونا .

والتداخل يمكن أن يحدث أيضا للجسيمات، بسبب الازواجية التي أدخلتها ميكانيكا الكم. وأحد الأمثلة الشهيرة لذلك هو ما يسمى بتجربة الشقين (شكل ٢، ٤). فلننظر في حاجز فيه شقان ضيقان متوازيان. وعلى أحد جانبي الحاجز يضع المرء مصدرا لضوء من لون معين (أى له طول موجة معين). سيصطدم معظم الضوء بالحاجز، إلا أن قدرا صغيرا سيمر من خلال الشقين. هب الآن أننا وضعنا ساترا على جانب الحاجز البعيد عن الضوء. إن أى نقطة على الساتر ستلتقى موجات من الشقين الاثنين. على أنه بصفة عامة، فإن المسافة التي يكون على الضوء أن يقطعها من المصدر حتى الساتر من خلال الشقين ستكون مسافة مختلفة. وسوف يعنى هذا أن الموجات من الشقين لن تكون فى نفس الطور الواحد عند وصول كل منها للساتر: ففى بعض الأماكن ستلغى الموجات بعضها البعض، وفى أماكن أخرى ستدعم إحداها الأخرى. والنتيجة هى نمط مميز من الضوء والحواف المظلمة.

والشئ الرائع أن المرء يصل بالضبط للنوع نفسه من الحواف لو وضع مكان مصدر الضوء مصدرا لجسيمات مثل الكترونات ذات سرعة محددة (ويعنى هذا أن الموجات المناظرة لها طول محدد). والأمر يبدو أكثر غرابة لأننا عندما يكون هناك شق واحد فقط، لن ننال أى حواف، وإنما يكون هناك فقط توزيع متسق للإلكترونات على الساتر. وقد يظن المرء إذن أن فتح شق آخر سيؤدى فحسب إلى زيادة عدد الإلكترونات التى تصطدم بكل نقطة على الساتر، ولكنه فى الواقع يقلل العدد فى بعض الأماكن بسبب التداخل. ولو كانت الإلكترونات تُرسل من خلال الشقين بمعدل الكترون واحد فى كل مرة، لتوقع المرء أن يمر الواحد منها من أحد الشقين أو الآخر، وهكذا يسلك كما لو كان الشق الذى مر من خلاله هو الشق الوحيد هناك - مما يعطى توزيعا متسقا على الساتر. على أن الحقيقة هى أنه حتى عندما تُرسل الإلكترونات بمعدل واحد فى كل مرة، فإن الحواف تظل تظهر. وإذن فإن كل الكترون يمر ولا بد من خلال «كلاء الشقين فى نفس الوقت»!

وظاهرة التداخل بين الجسيمات كانت حاسمة فى فهمنا لتكوين الذرات، وهى الوحدات الأساسية للكيمياء والبيولوجيا ووحدات البناء التى صُنعت منها نحن وكل شئ حولنا. وفى بداية هذا القرن كان يُعتقد أن الذرات تكاد تشبه الكواكب التى تدور حول الشمس، فالإلكترونات (الجسيمات سالبة الكهرباء) تدور حول نواة مركزية، تحمل كهرباء موجبة. وكان يُفترض أن التجانب بين الكهرباء الموجبة والسالبة يبقى الإلكترونات فى مداراتها بنفس الطريقة التى يبقى بها

شد الجاذبية بين الشمس والكواكب على الكواكب في مداراتها. والمشكلة في هذا الأمر أن قوانين الميكانيكا والكهرباء، قبل ميكانيكا الكم، كانت تتنبأ بأن الإلكترونات سوف تفقد طاقة وهكذا فإنها ستجبه لولبيا للداخل حتى تصطدم بالنواة. وسوف يعنى هذا أن الذرة، بل وفي الحقيقة كل المادة، ينبغي أن تنقلص سريعا إلى حالة من كثافة عالية. جدا. وقد تم العثور على حل جزئى لذلك بواسطة العالم الدانمركى نيلز بوهر فى ١٩١٣. فقد اقترح أنه ربما يكون الأمر أن الإلكترونات وحسب لا تستطيع الدوران عند أى مسافة من النواة المركزية وإنما تدور فقط عند مسافات معينة محددة. ولو فرضنا أيضا أن الكترون واحد أو اثنين فقط يستطيعان الدوران عند أى من هذه المسافات، فإن هذا يحل مشكلة تقلص الذرة، لأن هذه الإلكترونات لن تستطيع التحرك لولبيا للداخل إلى أبعد مما تشغل به المدارات بأقل المسافات والطاقات.

وقد فسر هذا النموذج تفسيراً جيداً بنية أبسط ذرة، أى الهيدروجين، التى ليس لها إلا الكترون واحد يدور حول النواة. ولكن لم يكن من الواضح كيف ينبغي أن نمد ذلك إلى الذرات الأكثر تعقداً. وفوق ذلك فإن فكرة مجموعة محددة من المدارات المتاحة بدت فكرة تعسفية جداً. وقد حلت نظرية الكم الجديدة هذه الصعوبة. فقد كشفت عن أن الإلكترون الذى يدور حول النواة يمكن تصويره على أنه موجة طولها يعتمد على سرعتها. وبالنسبة لبعض المدارات، يكون طول المدار منظرًا لعدد صحيح (فى مقابلة بالعدد المكسور) من موجات الإلكترون. وبالنسبة لهذه المدارات، ستكون ذروة الموجة فى نفس الموضع مع كل دورة، وهكذا فإن الموجات تتضاضف: وهذه المدارات هى ما يناظر مدارات بوهر المتاحة. على أنه بالنسبة للمدارات التى لا تكون أطوالها عدداً صحيحاً من أطوال الموجات، فإنه مع دوران الإلكترونات ستصبح فى النهاية كل ذروة موجة ملغاة بقراراً! فهذه مدارات لن تكون متاحة.

ومن الطرق البارعة لتصوير ازواجية الموجة / الجسيم ما يسمى جاصل جمع التواريخ sum over histories الذى أدخله العالم الأمريكى ريتشارد فاينمان. وفى هذا التناول لا يُفترض للجسيم تاريخ أو مسلك وحيد فى المكان - الزمان، كما يكون الحال فى نظرية كلاسيكية غير كمية. وبدلاً من ذلك يفترض الذهاب من أ إلى ب بكل ما يحتمل من مسارات. وكل مسار يرتبط به رقمان: أحدهما يمثل حجم الموجة والآخر يمثل الموضع فى الدورة (أى ما إذا كان ذروة أو قراراً). واحتمال الذهاب من أ إلى ب يحسب بجمع موجات كل المسارات. وعموماً فإنه إذا قارن المرء مجموعة من المسارات المتجاورة، فإن الأطوار أو المواضع فى الدورة ستختلف اختلافاً عظيماً. ويعنى هذا أن الموجات المرتبطة بهذه المسارات تكاد بالضبط أن تلغى إحداها الأخرى. على أنه بالنسبة لبعض مجموعات المسارات المتجاورة فإن الطور لن يختلف اختلافاً كبيراً فيما بين

المسارات، والموجات بالنسبة لهذه المسارات لن يلغى بعضها البعض. وهذه المسارات تناظر مسارات بوهر المتاحة.

وبهذه الأفكار، في شكل رياضي متين، أمكن بصورة مباشرة نسبياً حساب المدارات المتاحة في الذرات الأكثر تعقداً، وحتى في الجزيئات التي تتكوّن من عدد من الذرات تمسكها معا الإلكترونات التي تدور في مدارات حول أكثر من نواة واحدة. ولما كانت بنية الجزيئات وتفاعلاتها أحدها مع الآخر هي في أساس كل الكيمياء والبيولوجيا، فإن ميكانيكا الكم تتيح لنا من حيث المبدأ أن نتنبأ تقريباً بكل شيء نراه من حولنا، في الحدود التي يفرضها مبدأ عدم اليقين. (على أنه وجد عند التطبيق أن الحسابات المطلوبة للنسق التي تحتوى على أكثر من الكترونات معدودة هي حسابات يبلغ من تعقدها أننا لا نستطيع القيام بها).

إن نظرية أينشتاين للنسبية العامة تحكم فيما يبدو بنية الكون ذات المقياس الكبير. وهي ما يسمى بنظرية كلاسيكية؛ أي أنها لا تأخذ في الحسبان مبدأ عدم اليقين لميكانيكا الكم، كما ينبغي أن تفعل بغرض التوافق مع النظريات الأخرى. والسبب في أن هذا لم يؤدّ إلى أي تعارض مع المشاهدة هو أن كل مجالات الجاذبية التي نختبرها طبيعياً هي مجالات ضعيفة جداً. على أن نظريات المفردة التي ناقشناها من قبل تدل على أن مجال الجاذبية ينبغي أن يصبح قوياً جداً في موقفين على الأقل، الثقوب السوداء والانفجار الكبير. وفي مثل هذه المجالات القوية ينبغي أن تكون تأثيرات ميكانيكا الكم أمراً مهماً. وهكذا، فبمعنى ما، فإن النسبية العامة الكلاسيكية بتنبؤها بنقط ذات كثافة لا متناهية، تتنبأ بانهيائها هي نفسها، تماماً مثلما تنبأت الميكانيكا الكلاسيكية (أي غير الكمية) بانهيائها باقتراح أن الذرات ينبغي أن تنقلص إلى كثافة لا متناهية. وليس لدينا بعد نظرية متماسكة كاملة توحد النسبية العامة وميكانيكا الكم، ولكننا نعرف بالفعل عدداً من الملامح التي ينبغي أن تكون فيها. والنتائج التي ستحدثها هذه في الثقوب السوداء والانفجار الكبير سيتم توصيفها في الفصول القادمة. أما في لحظتنا هذه، فسنوجه التفاتنا إلى المحاولات الحديثة التي بذلت حتى نضم معاً فهمنا لقوى الطبيعة الأخرى، في نظرية كم واحدة موحدة.



الجسيمات الأولية وقوى الطبيعة

كان أرسطو يعتقد أن كل المادة التي في الكون تتكون من أربعة عناصر أولية: الأرض، والهواء، والنار، والماء. وهذه العناصر تؤثر فيها قوتان: الجاذبية، أى نزعة الأرض والماء إلى الهبوط، والخفة، أى نزعة الهواء والنار إلى الصعود. وهذا التقسيم لمحتويات الكون إلى مادة وقوى ما زال يستخدم حتى الآن.

وكان أرسطو يعتقد أن المادة متصلة، أى أن المرء يستطيع أن يقسم قطعة من المادة إلى أجزاء أصغر وأصغر بلا أى حد : ولا يمكن قط أن يواجه المرء حبة من المادة لا يمكن تقسيمها لأكثر. على أن قلة من الإغريق، مثل ديمقريطس، نابوا بأن المادة هي جليبا ذات حبيبات، وأن كل شئ قد صنع من عدد كبير من أصناف شتى مختلفة من الذرات. (وكلمة ذرة atom تعنى فى الإغريقية «غير القابل للانقسام»). وقد استمر الجدل لقرون بون أى برهان حقيقى فى أى من الجانبين، إلا أن الكيميائى والفيزيائى البريطانى جون دالتون بين فى ١٨٠٣ حقيقة أن المركبات الكيميائية تتحد دائما بنسب معينة يمكن تفسيرها بتجمع الذرات معا لتشكل وحدات تسمى الجزيئات. على أن الجدل بين مدرستى الفكر لم يحسم نهائيا فى صف الذرين حتى السنوات الأولى من هذا القرن. وقد قدم أينشتين أحد الأجزاء المهمة للبرهان الفيزيائى. فقد بين إيبينشتين فى ورقة بحث كتبها ١٩٠٥، قبل ورقته الشهيرة عن النسبية الخاصة بأسابيع قليلة، أن ما يسمى بالحركة البراونية - أى الحركة العشوائية غير المنتظمة لجسيمات الغبار الصغيرة المعلقة فى أحد السوائل - يمكن تفسيرها بأنها تأثير من نرات السائل إذ تصطدم بجسيمات التراب.

وفى ذلك الوقت كان هناك بالفعل شكوك عن أن هذه الذرات هي - رغم كل شئ - ليست غير قابلة للانقسام. وقبل ذلك بعدة أعوام أثبت أحد زملاء كلية الثالوث فى كمبريدج وهو ج. ج. تومسون، وجود جسيم من المادة، يسمى الإلكترون، له كتلة هي أقل من واحد من الألف من كتلة

أخف الذرات. وقد استخدم جهازا يشبه أنبوبة الصورة فى التلفزيون الحديث : وكان هناك خيط معدنى ساخن حتى الاحمرار يبعث الالكترونات، ولما كانت هذه ذات شحنة كهربية سالبة، فإنه يمكن استخدام مجال كهربي لتعجيلها فى اتجاه حاجز مغطى بالفوسفور. وعندما تصطدم الالكترونات بالحاجز تتولد ومضات من الضوء . وسرعان ما تبين أن هذه الالكترونات لا بد وأنها تأتي من داخل الذرات نفسها، وفى النهاية أوضح الفيزيائى البريطانى إرنست روترفورد فى ١٩١١ أن ذرات المادة لها بالفعل بنية داخلية: فهي مصنوعة من نواة دقيقة الحجم للغاية ذات شحنة موجبة، يدور من حولها عدد من الالكترونات. وقد استتبذ ذلك بتحليل الطريقة التى تتحرف بها جسيمات ألفا عندما تصطدم بالذرات، وهذه الجسيمات هى جسيمات ذات شحنة موجبة تنبعث من الذرات المشعة.

وفى أول الأمر كان يظن أن نواة الذرة مصنوعة من الالكترونات وأعداد مختلفة من جسيم نوى شحنة موجبة يسمى البروتون، وقد أخذ الاسم عن كلمة إغريقية تعنى «الأول» لأنه كان يعتقد أنه الوحدة الأساسية التى صنعت منها المادة. على أن جيمس شادويك، أحد زملاء روترفورد فى كمبريدج، اكتشف فى ١٩٣٢ أن النواة تحوى جسيما آخر، يسمى النيوترون، وله تقريبا نفس كتلة البروتون ولكن ليس له شحنة كهربية. وقد نال شادويك جائزة نوبل عن اكتشافه، وانتخب مديرا لكلية جونفيل وكايوس بكمبريدج (الكلية التى أعمل زميلا فيها الآن). وقد استقال فيما بعد من منصب المدير بسبب عدم الاتفاق مع الزملاء. وكان ثمة نزاع مرير فى الكلية منذ أن قامت مجموعة من الزملاء الشبان العائشين بعد الحرب بالتصويت بإقصاء الكثيرين من الزملاء كبار السن عن مناصب الكلية التى شغلوها زمنا طويلا. وكان هذا قبل عهدى بالكلية؛ وقد التحقت بالكلية فى ١٩٦٥ عند آخر طرف للمرارة، إذ أجبرت نزاعات مشابهة مديرا آخرًا حائزًا لجائزة نوبل على الاستقالة، وهو سير نيفيل موت.

وحتى ما يقرب من عشرين سنة، كان يظن أن البروتونات والنيوترونات هى جسيمات «أولية»، إلا أن تجارب اصطدام البروتونات بسرعات كبيرة بالبروتونات الأخرى أو الالكترونات بينت أنها فى الحقيقة قد صنعت من جسيمات أصغر. وقد سميت هذه الجسيمات الكواركات quarks وذلك بواسطة فيزيائى من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا هو موارى جيل - مان؛ وقد فاز بجائزة نوبل فى ١٩٦٩ لبحثه عليها. وأصل الاسم هو اقتباس مبهم عن جيمس جويس (الأديب الإيرلندى المشهور) ثلاثة كواركات للسيد مارك: «كوارك» يفترض أنها تنطق مثل كوارت quart، ولكن بكاف فى نهايتها بدلا من التاء. ولكنها عادة تنطق مقفاة مع لارك lark .

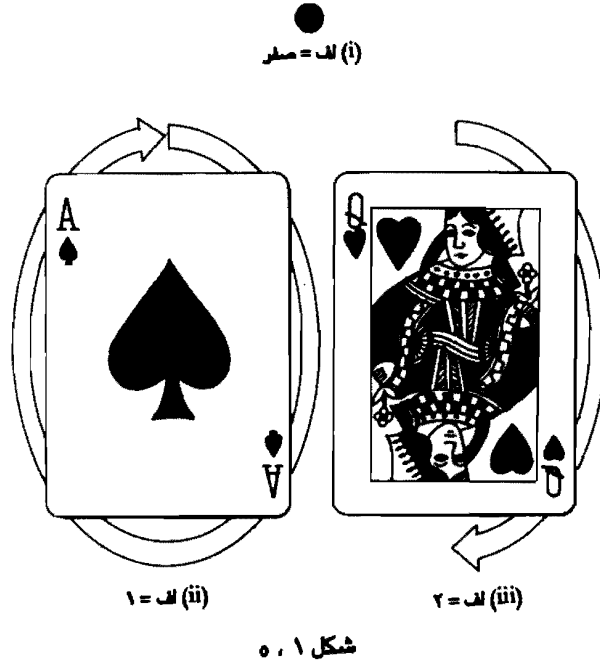
وثمة عدد من الأنواع المختلفة من الكواركات: ويعتقد أن هناك على الأقل ستة «نكهات»

Flavors تسمى واطى، وعالى، وغريب، وساحر، وقاع، وقمة. وكل نكهة تكون فى ثلاثة «ألوان»، أحمر وأخضر وأزرق. (بينفى التاكيد على أن هذه المصطلحات هى مجرد عناوين : فالكواركات أصفر كثيرا من أطوال موجات الضوء المرئى وهكذا فليس لها أى لون بالمعنى العادى. الأمر فحسب أن الفيزيائيين المحدثين لديهم فيما يبدو أساليب من الخيال الأوسع لإطلاق الأسماء على الجسيمات والظواهر الجديدة - فهم لم يعوخوا بعد يقتصرون على الإغريقية!) والبروتون أو النيوترون مصنوع من ثلاثة كواركات، واحد من كل لون. ويحوى البروتون كواركين اثنين من العالى وكواركا واحدا واطيا؛ والنيوترون يحوى اثنين من الواطى وواحد من العالى. ويمكننا تطبيق جسيمات مصنوعة من كواركات أخرى (غريب، وساحر، وقاع، وقمة)، ولكن هذه كلها لها كتلة أكبر كثيرا وتتحلل سريعا جدا إلى بروتونات ونيوترونات.

ونحن الآن نعرف أنه لا الذرات، ولا ما فى داخلها من بروتونات ونيوترونات هى غير قابلة للانقسام. وهكذا فإن السؤال هو : ما هى الجسيمات الأولية الحق، وحدات البناء الأساسية التى يصنع منها كل شىء؟ وحيث أن طول موجة الضوء هو أكبر كثيرا من حجم الفرة، فإنه لا يمكننا أن نأمل فى «النظر» إلى أجزاء الذرة بالطريقة العادية. ونحن نحتاج إلى استخدام شىء ما طول موجته أصغر كثيرا. وكما رأينا فى الفصل الأخير، فإن ميكانيكا الكم تخبرنا بأن كل الجسيمات هى فى الحقيقة موجات، وأنه كلما ارتفعت طاقة الجسيم، كان طول الموجة المناظرة أصغر. وهكذا فإن أحسن إجابة نعطيها عن سؤالنا تعتمد على قدر ارتفاع طاقة الجسيم التى تحت تصرفنا، لأن هذا يحدد قدر صغر مقياس الطول الذى يمكننا البحث عنه. وطاقات الجسيمات هذه تقاس عادة بوحدات تسمى فولتات الإلكترون. (رأينا فى تجارب تومسون على الإلكترونات أنه استخدم مجال كهربى لتعجيل الإلكترونات. والطاقة التى يكتسبها الكترون واحد من مجال كهربى لفولت واحد هى ما يعرف بفولت الإلكترون). فى القرن التاسع عشر، عندما كانت طاقات الجسيم الوحيدة التى عرف الناس كيفية استخدامها هى طاقات منخفضة من وحدات فولت الكترون معبودة تتولد من التفاعلات الكيماوية من مثل الاحتراق، كان من المعتقد أن الذرات هى أصغر الوحدات. وفى تجربة روثرفورد، كان لجسيمات ألفا طاقات من ملايين فولتات الإلكترون. وقد تعلمنا فى وقت أحدث كيفية استخدام المجالات الكهرومغناطية لتبعث طاقات جسيمات كانت فى أول الأمر بالملايين ثم أصبحت بالآلاف الملايين من فولتات الإلكترون. وهكذا فنحن نعرف أن الجسيمات التى كان يظن أنها «أولية» منذ عشرين سنة مضت، هى فى الحقيقة تتألف من جسيمات أصغر. (يمكن أن نكتشف - لو ذهبنا إلى الطاقات الأعلى أن هذه الجسيمات هى بدورها تتألف أيضا من جسيمات أصغر؟ من المؤكد أن هذا أمر فى الإمكان، عل أن لدينا بالفعل بعض أسباب نظرية تجعلنا نؤمن بأننا وصلنا أو اقتربنا

جدا من الوصول إلى معرفة وحدات البناء النهائية للطبيعة.

فباستخدام أزواجية الموجة / الجسيم التي نوقشت في الفصل الأخير، يمكن توصيف كل شئ في الكون، بما في ذلك الضوء والجاذبية، بلغة من الجسيمات. ولهذه الجسيمات خاصية تسمى اللف Spin. وإحدى طرق التفكير في اللف هي تخيل الجسيمات وكأنها نرى صغيرة تلف حول أحد المحاور. على أن هذا قد يؤدي لخطأ في الفهم لأن ميكانيكا الكم تخبرنا أن الجسيمات ليس لها أى محور جيد التحدد. وما نخبرنا به في الواقع لفة أحد الجسيمات هو ما يبدو عليه الجسيم من الاتجاهات المختلفة. فالجسيم الذى يكون لفة صفراً يشبه النقطة : فهو يبدو متماثلاً من كل اتجاه (شكل ١. ٥ - أ). ومن الجهة الأخرى فإن جسيماً لفة ١ يشبه السهم : فهو يبدو مختلفاً من الاتجاهات المختلفة (شكل ١. ٥ - ii). ولا يبدو هذا الجسيم متماثلاً إلا إذا لفة المرء ليدور دورة كاملة (٣٦٠ درجة). والجسيم الذى يكون لفة ٢، يشبه سهماً ذا رأسين (شكل ١. ٥ - iii): فهو يبدو



متماثلاً لولفه المرء ليدور نصف دورة (١٨٠ درجة). وبالمثل، فإن الجسيمات ذات اللف الأكبر تبدو متماثلة لولفها المرء لأجزاء أصغر من الدورة الكاملة. ويبدو هذا كله أمراً مباشراً إلى حد ما، ولكن الحقيقة الرائعة هي أن هناك جسيمات لا تبدو متماثلة إذا لفظها المرء لتدور دورة واحدة فحسب؛ وإنما يكون عليك أن تلفها لتدور دورتين كاملتين؛ ويقال أن مثل هذه الجسيمات لها لفة قدره نصف.

وكل الجسيمات المعروفة في الكون يمكن تقسيمها إلى مجموعتين : جسيمات لها نصف، تصنع المادة التي في الكون، وجسيمات لها صفر، ١، ٢، وهي كما سوف نرى، تنشأ عنها القوى التي بين جسيمات المادة. وتخضع جسيمات المادة لما يسمى مبدأ الاستبعاد لبولى. وهو مبدأ اكتشفه الفيزيائي النمساوي والفنانج بولى في ١٩٢٥ - وتلقى بسببه جائزة نوبل في ١٩٤٥. وبولى كان فيزيائيا منظرًا نموذجيا : وكان يقال عنه أن مجرد وجوده في نفس المدينة يجعل التجارب تجري خطأ! ومبدأ الاستبعاد لبولى يقول إن الجسيمين المتماثلين لا يمكن أن يوجدوا في نفس الحالة، أى أنهما لا يمكن أن يكون لهما معا نفس الموضع ونفس السرعة، وذلك في حدود ما يفرضه مبدأ عدم اليقين. ومبدأ الاستبعاد حاسم لأنه يفسر لنا سبب عدم تقلص جسيمات المادة إلى حالة من كثافة عالية جدا تحت تأثير القوى الناتجة عن الجسيمات ذات اللف صفر، ١، ٢: فإذا كانت جزيئات المادة لها مايقرب جدا من أن يكون نفس الموضع، فأنه يجب أن تكون لها سرعات مختلفة، الأمر الذى يعنى أنها لن تبقى طويلا في نفس الموضع. ولو كان العالم مخلوقا دون مبدأ الاستبعاد، فإن الكواركات لم تكن لتشكل بروتونات ونيوترونات منفصلة وجيدة التحدد، ولما كانت البروتونات والنيوترونات هي والالكترونات لتشكل نرات منفصلة جيدة التحدد. وإنما كانت كلها ستنتقلص لتشكل ما هو بالتقريب «حساء» كثيفا متسقا.

ولم يتأت الفهم الصحيح للالكترون والجسيمات الأخرى التي من لف نصف حتى عام ١٩٢٨، عندما طرح بول ديراك نظريته، وقد تم انتخابه فيما بعد لكرسى لوكاس لأستاذية الرياضة في كمبردج (نفس كرسى الأستاذية الذى شغله نيوتن ذات مرة، والذى أشغله أنا الآن). ونظرية ديراك كانت أول نظرية من نوعها تتوأم مع كل من ميكانيكا الكم ونظرية النسبية الخاصة. وهي تفسر رياضيا السبب في أن الالكترون له لف نصف، أى أنه لا يبدو متماثلا لو أنك لففته ليدور دورة كاملة واحدة فقط، ولكنه يبدو هكذا لو لففته ليدور مرتين. وتنبأت النظرية أيضا بأن الالكترون ينبغي أن يكون له رفيق: هو مضاد الالكترون، أو البوزيترون. واكتشاف البوزيترون في ١٩٣٢ قد أثبت نظرية ديراك وأدى إلى فوزه بجائزة نوبل للفيزياء في ١٩٣٣. ونحن نعرف الآن أن لكل جسيم مضاد جسيم، يمكن أن يفنى معه. (في حالة الجسيمات الحاملة للقوى، تكون مضادات الجسيمات معاملة للجسيمات نفسها). ومن الممكن أن توجد مضادات لعوالم ولأناس بأسرها تتكون من مضادات الجسيمات. على أنك لو قابلت مضاد نفسك، فإياك أن تصافحه! فإنكما ستتلاشيان معا في ومضة ضوء هائلة. والسبب في أنه يوجد حولنا فيما يبدو جسيمات أكثر كثيرا من مضادات الجسيمات هو أمر بالغ الأهمية، وسوف أعود له فيما بعد في هذا الفصل.

وفي ميكانيكا الكم يفترض أن القوى أو التفاعلات فيما بين جسيمات المادة هي كلها

محمولة بواسطة جسيمات ذات لف تام - من صفر، أو ١ أو ٢. وما يحدث هو أن جسيم المادة، من مثل الإلكترون أو الكوارك، يبعث جسيما حاملا للقوة. والارتداد من هذا الانبعاث يغير سرعة جسيم المادة. ثم يصطدم الجسيم الحامل للقوة بجسيم مادة آخر ويتم امتصاصه. وهذا الاصطدام يغير من سرعة الجسيم الثاني، تماما كما لو كانت هناك قوة بين جسيמי المادة الاثنين.

ومن الخواص المهمة للجسيمات الحاملة للقوة أنها لا تخضع لمبدأ الاستبعاد. ويعنى هذا أنه لا حدود لعدد ما يمكن تبادله، وهكذا فإنها تستطيع أن تُنشأ قوة قوية. إلا أن جسيمات حمل القوة إذا كانت ذات كتلة عالية، فإنه سيكون من الصعب إنتاجها وتبادلها عبر مسافة كبيرة. وهكذا سيكون للقوى المحمولة بها مدى قصير وحسب. ومن الناحية الأخرى، إذا كانت الجسيمات الحاملة للقوة ليس لها كتلة تخصها هي نفسها، فإن القوى سيكون لها مدى طويل. وجسيمات حمل القوة التى يتم تبادلها بين جسيمات المادة يقال عنها أنها جسيمات تقديرية Virtual لأنها بخلاف الجسيمات «الحقيقية» لا يمكن الكشف عنها مباشرة بكشاف للجسيمات. على أننا نعرف بوجودها، لأن لها بالفعل مفعولا قابلا للقياس: فهي تنشئ القوى فيما بين جسيمات المادة. وجسيمات لف صفر، أو ١، أو ٢ تتواجد بالفعل أيضا فى بعض الظروف كجسيمات حقيقية، حيث يمكن الكشف عنها مباشرة. وهى تبدل لنا عندها بما سيسميه الفيزيائي الكلاسيكى الموجات، مثل موجات الضوء أو موجات الجاذبية. وهى قد تتبعث أحيانا عندما تتفاعل جسيمات المادة أحدها مع الآخر بواسطة تبادل الجسيمات التقديرية الحاملة للقوة. (وكمثل، فإن قوة التناثر الكهربائية بين الكترونين ترجع إلى تبدل فوتونات تقديرية، لا يمكن قط الكشف عنها مباشرة؛ ولكن إذا تحرك أحد الالكترونات عبر الآخر، فإن الفوتونات الحقيقية قد تتبعث، ونكشف عنها كموجات ضوء).

ويمكن تقسيم جسيمات حمل القوى إلى أربعة صنوف حسب شدة القوة التى تحملها والجسيمات التى تتفاعل معها. وينبغى التاكيد على أن هذا التقسيم إلى أربعة أنواع قد صنع بواسطة الإنسان؛ وهو مفيد لبناء النظريات الجزئية، إلا أنه قد لا يكون مناظرا لأى شئ أعمق. وفى النهاية فإن معظم الفيزيائيين يأملون العثور على نظرية موحدة تفسر كل القوى الأربع على أنها أوجه مختلفة لقوة وحيدة. والحقيقة أن الكثيرين سيقولون إن هذا هو الهدف الرئيسى للفيزياء اليوم. وقد أجريت مؤخرا محاولات ناجحة لتوحيد ثلاثة من الصنوف الأربعة للقوة - وسنؤلف أصفها فى هذا الفصل. ومسألة توحيد الصنف الباقي، أى الجاذبية، سنتركها لما بعد.

والصنف الأول من القوى هو قوة الجاذبية. وهذه القوة كونية، أى أن كل جسيم يحس بقوة الجاذبية، حسب كتلته أو طاقته. والجاذبية هى أضعف القوى الأربع إلى حد كبير؛ وهى من الضعف بحيث ما كنا لنلاحظها مطلقا لولا أن لها صفتين خاصتين: أنها تستطيع العمل عبر

مسافات كبيرة، وأنها دائما تجذب. ويعنى هذا أن قوى الجاذبية الضعيفة جدا بين الجسيمات الفردية فى جسمين كبيرين، مثل الأرض والشمس، يمكن أن تتضافر كلها لتنتج قوة لها دلالتها. والقوى الثلاث الأخرى هى إما قصيرة المدى، أو أنها أحيانا تتجانب وأحيانا تتنافر، بحيث تنزع إلى أن تصبح ملغاة. وبالنظر إلى مجال الجاذبية بطريقة ميكانيكا الكم، فإن القوة التى بين جسمين من المادة تصور على أنها محمولة بجسيم من لف^٢، يسمى جرافيتون، وهو ليس له كتلة خاصة به، وهكذا فإن القوة التى يحملها ذات مدى طويل. وقوة الجاذبية بين الشمس والأرض تُرجع إلى تبادل الجرافيتونات بين الجسيمات التى تكون هذين الجسمين. ورغم أن الجسيمات المتبادلة تقديرية، إلا أنها بالتأكيد تُنتج بالفعل تأثيرا يمكن قياسه - فهى تجعل الأرض تدور حول الشمس! والجرافيتونات الحقيقية تُلّف ما سوف يسميه الفيزيائيون الكلاسيكيون موجات جانبية، وهى ضعيفة جدا - ويصعب جدا الكشف عنها حتى أنها لم يتم رصدها قط حتى الآن.

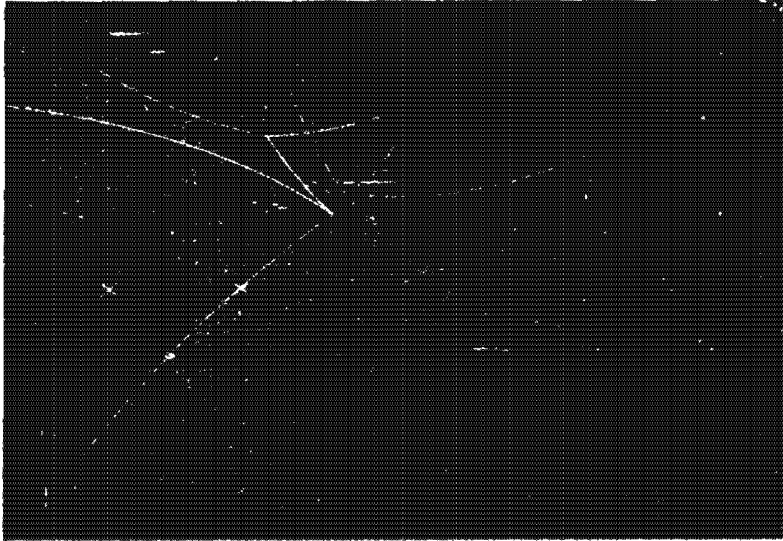
والصنف الثانى هو القوة الكهرومغناطية، التى تتفاعل مع الجسيمات المشحونة كهربيا مثل الإلكترونات والكواركات، ولكنها لا تتفاعل مع الجسيمات غير المشحونة مثل الجرافيتونات. وهى أقوى كثيرا من قوة الجاذبية : فالقوة الكهربائية بين الكترونين أكبر من قوة الجاذبية بما يقرب من مليون مليون مليون مليون مليون مليون ضعف (١ يعقبه اثنان وأربعون صفرا). على أن هناك نوعين من الشحنات الكهربائية، الموجبة والسالبة. والقوة بين شحنتين موجبتين متنافرة، مثلاً تكون القوة ما بين شحنتين سالبتين، ولكن القوة بين شحنة موجبة وشحنة سالبة تكون متجاذبة. والجسم الكبير، مثل الأرض أو الشمس، يحوى تقريبا أعدادا متساوية من الشحنات الموجبة والسالبة. وهكذا فإن قوى التناظر والتجاذب بين الجسيمات الفردية تقريبا تُلغى إحداها الأخرى، ويكون القدر الصافى من القوة الكهرومغناطية صغيرا جدا. أما بالمقاييس الصغيرة للذرات والجزيئات، فإن القوى الكهرومغناطية هى التى تسود. والجذب الكهرومغناطى بين الإلكترونات ذات الشحنة السالبة والبروتونات ذات الشحنة الموجبة فى النواة يجعل الإلكترونات تدور حول نواة الذرة) تماما مثلما يسبب شد الجاذبية أن تدور الأرض حول الشمس. ويُصور الجذب الكهرومغناطى على أنه ناجم عن تبادل أعداد كبيرة من جسيمات تقديرية لا كتلة لها هى من لف^١، تسمى الفوتونات. ومرة أخرى فإن الفوتونات التى يتم تبادلها هى جسيمات تقديرية. إلا أنه عندما يبدل أحد الإلكترونات أحد المدارات المسموح بها له إلى آخر أقرب للنواة، فإن الطاقة تنطلق وينبعث فوتون حقيقى - يمكن رصده بالعين البشرية كضوء مرئى، إذا كان له طول الموجة المناسب، أو بكشاف للفوتون مثل الفيلم الفوتوغرافى. ويساوى ذلك، أنه عندما يصطدم فوتون حقيقى بذرة، فإنه قد يحرك الكترونا من مدار أقرب للنواة إلى آخر أبعد عنها. ويؤدى هذا إلى استهلاك طاقة الفوتون. فيتم امتصاصه.

والصنف الثالث هو ما يسمى القوة النووية الضعيفة، وهي المسؤولة عن النشاط الإشعاعي وهي التي تعمل على كل جسيمات المادة من لف نصف، ولكنها لا تعمل على الجسيمات من لف صفر، أو ١، أو ٢، مثل الفوتونات والجرافيتونات. والقوة النووية الضعيفة لم تفهم جيدا حتى ١٩٦٧، عندما طرح كل من عبد السلام في الكلية الإمبراطورية بلندن، وستيفن واينبرج في هارفارد نظريات توحد هذا التفاعل مع القوة الكهرومغناطية، تماما مثلما وحد مكسويل الكهرباء والمغناطيسية قبل ذلك بما يقرب من مائة عام، وقد اقترحا أنه بالإضافة إلى الفوتون، ثمة ثلاثة جسيمات أخرى من لف ١، تعرف معا ببوزونات التوجه ذات الكتلة massive vector bosons، وهي التي تحمل القوة الضعيفة. وقد سميت W^+ (وتنطق W بلاس أى (زائد))، و W^- (وتنطق W مايناس أى ناقص) و Z^0 (وتنطق Z نوط أى صفر)، ولكل منها كتلة تبلغ حوالى ١٠٠ جى فى GeV (وجى فى ترمز لجيجا فولت الكترون، أو ألف مليون من فولتات الالكترون). ونظرية واينبرج - سلام تبين خاصية تعرف بكسر السمترية تلقائيا. ويعنى هذا أن ما يبدو على أنه عدد من جسيمات مختلفة تماما عند الطاقات المنخفضة، هي في الحقيقة كلها نفس النوع من الجسيم، وإنما في حالات مختلفة. ففي الطاقات العالية تسلك كل هذه الجسيمات بطريقة متماثلة. والنتيجة هي ما يكاد يشبه سلوك كرة الروليت على عجلة الروليت. فعند الطاقات العالية (عندما تُلف العجلة سريعا) تسلك الكرة أساسا بطريقة واحدة فقط - فهي تدور وتدور متدحرجة: ولكن إذ تبطئ العجلة، فإن طاقة الكرة تنقص، وتسقط الكرة في النهاية في أحد ثقب العجلة السبعة والثلاثين. وبكلمات أخرى فعند الطاقات المنخفضة هناك سبع وثلاثون حالة يمكن أن توجد فيها الكرة. وإذا أمكننا وحسب لسبب ما، أن نرصد الكرة عند الطاقات المنخفضة، فإننا سنظن وقتها أن هناك سبعة وثلاثين نوعا مختلفا من الكور!

وفي نظرية واينبرج - سلام، فإنه عند الطاقات الأكبر كثيرا من ١٠٠ جى فى، تسلك الجسيمات الثلاثة الجديدة هي والفوتون كلها بطريقة متماثلة. ولكن عند طاقات الجسيم المنخفضة التي تحدث في معظم المواقف الطبيعية، فإن هذه السمترية بين الجسيمات تنكسر. وسيكتسب W^+ و W^- و Z^0 كتلا كبيرة، مما يجعل القوى التي تحملها ذات مدى قصير جدا. ووقت أن طرح عبد السلام وواينبرج نظريتهما، لم يؤمن بها إلا عدد قليل من الناس، وكانت معجلات الجسيمات ليست قوية بما يكفي للوصول إلى طاقات من ١٠٠ جى فى وهي الطاقة المطلوبة لإنتاج جسيمات حقيقية من نوع W^+ أو W^- أو Z^0 . على أنه بمرور السنوات العشر التالية أو ما يقرب من ذلك، اتفقت التنبؤات الأخرى للنظرية عند الطاقات المنخفضة اتفاقا بالغا مع التجربة بحيث مُنح عبد السلام وواينبرج جائزة نوبل للفيزياء هما وشيلدون جلاشو، وهو أيضا من هارفارد، وهو الذى طرح

نظريات موحدة مشابهة، للقوى الكهرومغناطية والنوية الضعيفة. وقد نجت لجنة نوبل من حرج الوقوع في خطأ، بأن تم في ١٩٨٣ في المركز الأوروبي للبحث النووي اكتشاف رفاق الفوتون الثلاثة نوى الكتلة، مع صحة الكتل المتنبأ بها هي والخواص الأخرى. وتلقى كارلورويبا، الذي قاد فريقا من عدة مئات من الفيزيائيين الذين قاموا بهذا الكشف، جائزة نوبل في ١٩٨٤، هو وسيمون فانديرمير، مهندس المركز الأوروبي للبحث النووي الذي أنشأ نظام التخزين المستخدم لمضاد المادة. (من الصعب جدا في هذه الأيام إحراز سبق في الفيزياء التجريبية إلا إذا كنت بالفعل على القمة!).

والصنف الرابع هو القوة النووية القوية، التي تمسك بالكواركات معا في البروتون والنيوترون، وتمسك البروتونات والنيوترونات معا في نواة الذرة. ومما يعتقد أن هذه القوة يحملها جسيم آخر من لف ١ يسمى جلون gluon يتفاعل فقط مع نفسه ومع الكواركات. والقوة النووية القوية لها خاصية غريبة تسمى التقييد confinement : فهي دائما تربط الجسيمات معا في



شكل ٥.٢

يصطدم بروتون ومضاد بروتون عند طاقة عالية، لينتج زوج من كواركات تكاد تكون حرة

توليفات عديدة اللون. ولا يستطيع المرء أن يجد كواركا وحيدا بذاته لأنه سيكون له لون (أحمر، أو أخضر، أو أزرق). وبدلاً من ذلك فإن الكوارك الأحمر يجب أن ينضم إلى كوارك أخضر وكوارك أزرق بواسطة «خيط» من الجلونات (أحمر + أخضر + أزرق = أبيض). ومثل هذا الثلاثي يؤلف

بروتونا أو نيوترونا. وهناك إمكان آخر هو أن يكون ثمة ثنائي يتألف من كوارك ومضاد كوارك (أحمر + مضاد أحمر، أو أخضر + مضاد أخضر، أو أزرق + مضاد أزرق = أبيض). وهذه التوليفات هي التي تؤلف الجسيمات المعروفة بالميزونات mesons، وهي غير مستقرة لأن الكوارك ومضاد الكوارك يمكن أن يُفنى أحدهما الآخر، لتنتج الكترونات وجسيمات أخرى. وبالمثل، فإن التقيد يمنع أن يجد المرء جلوونا وحيدا بذاته، لأن الجلوونات أيضا لها لون، وبدلا من ذلك يجب أن يجد المرء مجموعة من الجلوونات تتضايّف ألوانها إلى الأبيض. وهذه المجموعة تشكل جسيما غير مستقر يسمى كرة اللصق glue ball.

وحقيقة أن التقيد يمنع أن يرصد المرء كواركا أو جلوونا منعزلا قد يبدو أنها تجعل كل فكرة وجود الكواركات والجلوونات كجسيمات أمرا ميتافيزيقيا بعض الشيء. على أن هناك خاصية أخرى للقوة النووية القوية، تسمى الحرية التقريبية asymptotic freedom، تجعل مفهوم الكواركات والجلوونات محددا على نحو جيد. فعند الطاقات العادية، تكون القوة النووية القوية هي حقا قوية، وتربط الكواركات معا بحزم. على أن تجارب معجلات الجسيمات الكبيرة تدل على أنه عند الطاقات العالية تصبح القوة أضعف كثيرا، وتسلك الكواركات والجلوونات بما يكاد يماثل الجسيمات الحرة. ويبين شكل ٥.٢ صورة ضوئية لاصطدام بين بروتون ذي طاقة عالية هو ومضاد البروتون. ونتجت كواركات عديدة تكاد تكون حرة، نشأ عنها «نوافير» من المسارات التي ترى في الصورة.

وقد أدى نجاح توحيد القوى الكهرومغناطية والقوى النووية الضعيفة إلى عدد من المحاولات للجمع بين هاتين القوتين مع القوة النووية القوية فيما يسمى النظرية الموحدة العظمى Grand Unified Theory، (أو Gut). وهذا العنوان فيه مبالغة نوعا ما: فالنظريات الناتجة ليست بكل هذه العظمة، ولا هي موحدة بالكامل، لأنها لا تتضمن الجاذبية. ولا هي بالنظريات الكاملة حقا، لأنها تحوى عددا من الملاحظات قيمتها لا يمكن التنبؤ بها من النظرية ولكنها يجب أن تُختار بحيث تتواءم مع التجربة. ومع ذلك، فإن هذه النظريات قد تكون خطوة تجاه نظرية كاملة موحدة بالكامل. والفكرة الأساسية في نظريات Gut هي كالتالي: كما ذكر أعلاه، فإن القوة النووية القوية تصبح ضعيفة عند الطاقات العليا. ومن الناحية الأخرى فإن القوى الكهرومغناطية والضعيفة، التي ليست حرة تقريبا، تصبح أقوى عند الطاقات العالية. وعند طاقة ما عالية جدا، تسمى طاقة التوحيد العظمى، يكون لهذه القوى الثلاث كلها نفس الشدة وهكذا فإنها يمكن أن تكون وحسب أوجه مختلفة لقوة واحدة. ونظريات Gut تتنبأ أيضا بأنه عند هذه الطاقة فإن جسيمات المادة المختلفة من لف نصف، مثل الكواركات والالكترونات، تصبح أيضا متماثلة أساسا، وهكذا يتم إنجاز توحيد آخر.

وقيمة طاقة التوحيد العظمى ليست معروفة بصورة جيدة جداً، ولكنها فيما يحتمل يلزم أن تكون على الأقل من ألف مليون مليون جى فى. والجيل الحالى من معجلات الجسيمات يستطيع أن يصدم الجسيمات على طاقات تبلغ حوالى مائة جى فى، وتوضع خطط لماكينات ترفع هذا إلى آلاف معبودة من وحدات جى فى. على أن الماكينة القوية بما يكفى لتعجيل الجسيمات للطاقة الموحدة العظمى ينبغى أن تكون فى كبر النظام الشمسى - ولا يحتمل أن يتم تمويلها فى المناخ الاقتصادى الحالى. وهكذا فإن من المستحيل اختبار النظريات الموحدة العظمى مباشرة، فى العمل. على أنه تماماً كما فى حالة النظرية الموحدة للقوى الكهرومغناطية والضعيفة، فإن هناك نتائج للنظرية عند الطاقة المنخفضة يمكن اختبارها.

وأكثر تلك النتائج إثارة للاهتمام هى التنبؤ بأن البروتونات، التى تكون الكثير من كتلة المادة العادية، يمكن أن تتحلل تلقائياً إلى جسيمات أخف مثل مضادات الإلكترون والسبب فى إمكان ذلك هو أنه عند طاقة التوحيد العظمى لا يكون ثمة فارق جوهري بين الكوارك ومضاد الإلكترون. والكواركات الثلاثة داخل البروتون هى طبيعياً ليس فيها من الطاقة ما يكفى لتغييرها إلى مضادات الإلكترون، ولكن قد يحدث على نحو عرضى جداً أن يكتسب أحدها من الطاقة ما يكفى لصنع هذا التحول؛ لأن مبدأ عدم اليقين يعنى أن طاقة الكواركات التى فى داخل البروتون لا يمكن أن تكون ثابتة بالضبط. وسوف يتحلل البروتون عند ذلك. واحتمال أن يكتسب أحد الكواركات الطاقة الكافية هو احتمال جد منخفض بحيث أنه يحتمل أن يكون على المرء انتظاره على الأقل للمليون مليون مليون سنة (١ يتبعه ثلاثون صفراً). وهذا زمن أطول كثيراً من الزمن منذ الانفجار الكبير، وهو مجرد عشرة آلاف مليون عام أو ما يقرب من ذلك (١ يتبعه عشرة أصفار). وهكذا فإن المرء قد يظن أن احتمال تحلل البروتون تلقائياً لا يمكن اختباره تجريبياً. على أن المرء يستطيع زيادة فرض اكتشاف تحلل ما بأن يرقب قدراً كبيراً من المادة يحوى عدداً كبيراً جداً من البروتونات. (فلو راقب المرء مثلاً عدداً من البروتونات يساوى ١ يتبعه واحد وثلاثون صفراً لفترة عام واحد، فإنه ليتوقع حسب أبسط نظريات GUT أن يرصد تحلل أكثر من بروتون واحد).

وقد أجرى عدد من مثل هذه التجارب، ولكن لم تؤد أى منها إلى برهان حاسم على تحلل البروتون أو النيوترون. وقد استخدمت إحدى التجارب ثمانية آلاف طن من الماء، وتم إجراؤها فى منجم ملح بمورتون بأوهايو (لتجنب وقوع أى أحداث أخرى ناجمة عن الأشعة الكونية، مما قد يختلط أمره مع تحلل البروتون). وحيث أنه لم يتم رصد تحلل تلقائى للبروتون أثناء التجربة، فإن المرء يستطيع أن يحسب طول الحياة المحتمل للبروتون بأنه أكبر من عشرة مليون مليون مليون مليون سنة (١ يتلوه ثلاثون صفراً). وهو أطول من طول الحياة التى تتنبأ به أبسط نظرية

موحدة عظمى، على أن هناك نظريات أكثر إتقانا تكون فيها أطوال الحياة المتنبأ بها أطول. على أن اختبارها سيحتاج إلى تجارب أكثر حساسية وتتضمن حتى كميات أكبر من المادة.

ورغم أن من الصعب جدا رصد التحلل التلقائي للبروتون، إلا أن الأمر قد يكون أن وجودنا ذاته هو نتيجة للعملية العكسية، عملية إنتاج البروتون. أو ببساطة أكثر، إنتاج الكواركات، من وضع أصلى حيث عدد الكواركات لا يزيد فيه عن عدد مضادات الكواركات، وهذه أكثر طريقة طبيعية لتخيل بدأ نشأة الكون. والمادة على الأرض تتألف أساسا من البروتونات والنيوترونات، التى تتألف بدورها من الكواركات. وليس هناك مضادات بروتونات أو مضادات نيوترونات تتألف من مضادات الكواركات، فيما عدا قلة ينتجها الفيزيائيون فى معجلات كبيرة للجسيمات. ولدينا برهان من الأشعة الكونية على أن نفس الشيء يصدق أيضا على كل المادة فى مجرتنا: ليس هناك مضادات بروتونات ولا مضادات نيوترونات فيما عدا عدد قليل يتم إنتاجه كأزواج من جسيم / مضاد الجسيم فى اصطدامات ذات طاقة عالية. ولو كان هناك مناطق كبيرة من مضاد المادة فى مجرتنا، لتوقعنا أن نرصد كميات كبيرة من الإشعاع من الحدود التى بين مناطق المادة ومضادات المادة، حيث ستصطدم جسيمات كثيرة مع مضاداتها، ويفنى أحدها الآخر، وتبعث إشعاعا عالى الطاقة.

وليس لدينا دليل مباشر عما إذا كانت المادة فى المجرات الأخرى تتألف من بروتونات ونيوترونات أو مضادات البروتونات ومضادات النيوترونات، على أن الأمر يجب أن يكون إما هذا أو ذاك. ولا يمكن أن يكون ثمة خليط فى مجرة واحدة لأننا فى هذه الحالة سوف نرصد ثانية الكثير من إشعاع الناتج من الإفناءات. فنحن إذن نؤمن بأن كل المجرات تتكون من كواركات بلوى من مضادات الكواركات؛ ويبدو من غير المعقول أنه ينبغي أن تكون بعض المجرات من المادة وبعضها من مضاد المادة.

لماذا ينبغي أن يكون هناك كواركات هكذا أكثر كثيرا من مضادات الكواركات؟ لماذا لا يوجد عدد متساو من كل؟ من المؤكد أنه من حسن حظنا أن الأعداد ليست متساوية، لأنها لو كانت متماثلة، فإن ما يقرب من كل الكواركات ومضاداتها كانت سيُفنى أحدها الآخر فى الكون المبكر لتترك كونا مليئا بالإشعاع ولا يكاد يحوى أى مادة. ووقتها لن يكون ثمة مجرات، أو نجوم، أو كواكب يمكن أن تنشأ عليها حياة بشرية. ولحسن الحظ، فإن النظريات الموحدة العظمى قد تمد بتفسير للسبب فى أن الكون ينبغي أن يحوى الآن كواركات أكثر من مضادات الكواركات، حتى ولو بدأ الكون بعدد متساوٍ من كل. وكما رأينا فإن نظريات GUT تسمح للكواركات بأن تتغير إلى مضادات الالكترونات عند الطاقة العالية. وهى تسمح أيضا بالعملات العكسية، أى بأن تتحول مضادات الكواركات إلى الالكترونات، والالكترونات ومضادات الالكترونات تتحول إلى مضادات الكواركات

والكواركات. وقد كان ثمة وقت في الكون المبكر جدا الحرارة فيه عالية جدا بحيث أن طاقات الجسيمات كانت عالية بما يكفي لوقوع هذه التحولات. ولكن لماذا ينبغي أن يؤدي ذلك إلى وجود عدمن الكواركات أكثر من مضادات الكواركات؟ السبب هو أن قوانين الفيزياء لا تتماثل تماما بالنسبة للجسيمات ومضاداتها.

وحتى ١٩٥٦ كان يعتقد أن قوانين الطبيعة تخضع لكل من ثلاث سمتريات منفصلة تسمى T, P, C . وسمترية C تعني أن القوانين متماثلة للجسيمات ومضاداتها. وسمترية P تعني أن القوانين متماثلة بالنسبة لأي وضع ولصورته في المرآة (صورة المرآة لجسيم يلف في اتجاه إلى اليمين هي جسيم يلف في اتجاه إلى اليسار). وسمترية T تعني أنك لو عكست اتجاه حركة كل الجسيمات ومضادات الجسيمات، فإن النظام ينبغي أن يرتد ثانية إلى ما كان عليه في الأزمنة السابقة؛ وبكلمات أخرى فإن القوانين تتماثل في الاتجاهين الأمامي والخلفي للزمان.

وفي ١٩٥٦ اقترح فيزيائيان أمريكيان، هما تسونج داوولي وتشن ننج يانج، أن القوة الضعيفة لا تخضع في الحقيقة لسمترية P . وبكلمات أخرى، فإن القوة الضعيفة ستجعل الكون ينشأ بطريقة مختلفة عن الطريقة التي ستتشأ بها صورة المرآة للكون. وفي نفس السنة أثبتت إحدى الزميلات، وهي شين - شيونج وو، أن هذا التنبؤ صحيح. وقد فعلت ذلك بأن رصت نوى ذرات مشعة في مجال مغناطيسي، بحيث تلف كلها في نفس الاتجاه، وبينت أن الالكترونات كانت تنبعث في أحد الاتجاهات أكثر من الآخر. وفي السنة التالية تلقى لي ويانج جائزة نوبل عن فكرتهم. وقد وجد أيضا أن القوة الضعيفة لا تخضع لسمترية C . أي أنها ستتسبب في أن الكون الذي يتكون من مضادات الجسيمات يسلك على نحو مختلف عن كوننا. ومع كل، فيبين أن القوة الضعيفة تخضع فعلا للسمترية المجمع CP . أي أن الكون سينشأ بنفس الطريقة مثل صورته في المرآة، لو حدث بالإضافة، أن قويض كل جسيم بمضاده! على أن أمريكيين آخرين، هما ج. و. كرونين، وفال فتش، اكتشفا في ١٩٦٤ أنه حتى سمترية CP لا يتم الخضوع لها عند تحليل جسيمات معينة تسمى ميزونات $K - mesons$. وقد تلقى كرونين وفتش في النهاية جائزة نوبل عن بحثهما، وذلك في عام ١٩٨٠. (تم منح جوائز كثيرة لإظهار أن الكون ليس بالبساطة التي قد نظن أنه عليها!).

وثمة نظرية رياضية تقول أن أي نظرية تخضع لميكانيكا الكم وللنسبية يجب دائما أن تخضع للسمترية المجمع CPT . وبكلمات أخرى، يكون على الكون أن يسلك سلوكا متماثلا لو استبدل المرء بالجسيمات مضادات الجسيمات، وأخذ صورة المرآة، وعكس أيضا اتجاه الزمان. على أن كرونين وفتش قد بينا أنه لو استبدل المرء بالجسيمات مضادات الجسيمات، وأخذ صورة

المرأة، ولكنه لم يعكس اتجاه الزمان، فإن الكون إذن «لا» يسلك نفس السلوك. وإن فإن قوانين الطبيعة يجب أن تتغير لو أن المرء عكس اتجاه الزمان - فهي لا تخضع لسمتريّة T .

ومن المؤكد أن الكون المبكر لا يخضع لسمتريّة T : إذا امتد الزمان أماما يتمدد الكون - وإذا امتد وراء، فسوف يتقلص الكون. وحيث أن هناك قوى لا تخضع لسمتريّة T ، فإنه يتبع ذلك أن الكون إذا يتمدد، فإن هذه القوى يمكن أن تسبب تحول مضادات الإلكترونات إلى كواركات أكثر من تحول الإلكترونات إلى مضادات الكواركات. وإن فإن إذ يتمدد الكون ثم يبرد، فإن مضادات الكواركات تقني مع الكواركات، ولكن حيث أنه سيكون هناك كواركات أكثر من مضاداتها، فسيبقى فائض صغير من الكواركات. وهذه هي التي تؤلف المادة التي نراها الآن والتي منعتنا نحن أنفسنا منها. وهكذا فإن وجودنا ذاته يمكن النظر إليه كإثبات للنظريات الموحدة العظمى، وإن كان هذا إثباتا كيفيا فقط؛ وأوجه عدم اليقين هي بحيث أن المرء لا يتمكن من التنبؤ بعدد الكواركات التي ستُخلف بعد الإقناء، ولا حتى بما إذا كان ما سيبقى هو كواركات أو مضادات الكواركات. (على أنه لو كان الفائض من مضادات الكواركات لكننا ببساطة قد سمينا مضادات الكواركات كواركات، والكواركات مضادات كواركات).

والنظريات الموحدة العظمى لا تشمل قوة الجاذبية. وهذا لا يهم كثيرا جدا لأن الجاذبية قوة من الضعف بحيث أن تأثيراتها يمكن عادة إهمالها عندما نتعامل مع جسيمات أولية أو ذرات. على أن حقيقة أنها تتصف معا بالمدى الطويل وبأنها دائما تجذب، تعني أن تأثيراتها كلها تتضاف. وهكذا فبالنسبة لجسيمات المادة التي يكون عددها كبيرا بما يكفي، فإن قوى الجاذبية قد تغلب على كل القوى الأخرى. وهذا هو السبب في أن الجاذبية هي التي تحدد تطور الكون. وحتى بالنسبة للأشياء من حجم النجوم، فإن القوة الجاذبة للجاذبية تستطيع الفوز على كل القوى الأخرى وتسبب تقلص النجم. وقد كان عملي في السبعينيات مركّزا على الثقوب السوداء التي قد تتجم من مثل هذا التقلص النجمي، وعلى مجالات الجاذبية الشديدة من حولها. وكان هذا هو ما أدى إلى الإشارات الأولى عن كيف أن نظريات ميكانيكا الكم والنسبية العامة قد تؤثر إحداها في الأخرى - وفي هذا لحظة من شكل نظرية كم للجاذبية التي سوف تأتي ذات يوم.



الثقوب السوداء

مصطلح «الثقب الأسود» أصله حديث جدا. فقد صاغه في ١٩٦٩ العالم الأمريكى جون هويلر كوصف تصويرى لفكرة ترجع وراءاً إلى مائتى عام على الأقل، إلى وقت كانت هناك فيه نظريتان عن الضوء: إحداهما، التى كان نيوتن يحبها، وهو أن الضوء يتكوّن من جسيمات؛ والأخرى وهى أنه يُصنع من موجات. ونحن نعلم الآن أن النظريتين هما فى الواقع صحيحتان معا. فبواسطة ازواجية الموجة / الجسيم فى ميكانيكا الكم. يمكن النظر إلى الضوء على أنه معا موجة وجسيم. ولم يكن من الواضح كيف يستجيب الضوء للجاذبية حسب نظرية أنه مصنوع من الموجات. ولكن لو أن الضوء يتكون من جسيمات، فإن المرء قد يتوقع لها أن تتأثر بالجاذبية بالطريقة نفسها التى تتأثر بها قذائف المدفع، والصواريخ، والكواكب. وكان الناس يعتقدون فى أول الأمر أن جسيمات الضوء تنتقل بسرعة لا متناهية، وهكذا فإن الجاذبية لن يكون لها القدرة على تقليل سرعتها، ولكن اكتشاف روبرت أن الضوء ينتقل بسرعة متناهية كان معناه أن الجاذبية قد يكون لها تأثير مهم.

وبهذا الغرض، كتب أحد أساتذة كمبريدج، وهو جون متشيل، ورقة بحث فى ١٧٨٢ فى «التقارير الفلسفية للجمعية الملكية بلندن» بين فيها أن النجم الذى يكون له قدر كاف من الكتلة والدمج سيكون له مجال جاذبية من القوة بحيث لا يتمكن الضوء من الهرب منه : أى ضوء ينبعث من سطح النجم سيُجر للخلف بشد جاذبية النجم قبل أن يتمكن من أن يبتعد كثيرا. واقترح متشيل أنه قد يكون هناك عدد كبير من النجوم هكذا. ورغم أننا لن نتمكن من رؤيتها لأن ضوءها لن يصل إلينا، إلا أننا سنظل نحس بشد جاذبيتها. وهذه الأشياء هى ما نسميها الآن الثقوب السوداء، لأن هذا هو ما تكونه : فراغات سوداء فى الفضاء. وقد طرح العالم الفرنسى الماركيز دى لا بلاس اقتراحا مماثلا بعد ذلك بسنوات معدودة، ومن الواضح أن ذلك كان على نحو مستقل عن متشيل.

ومن الشيق بما يكفى، أن لابلأس ضمن اقتراحه فى الطبعة الأولى والثانية فقط من كتابه «نظام العالم»؛ وحذفه من الطبعات التالية؛ ولعله قرر أنه فكرة جنونية. (كما أن نظرية جسيمات الضوء كانت قد أصبحت غير محبذة أثناء القرن التاسع عشر؛ فقد بدا أن كل شئ يمكن تفسيره بنظرية الموجة؛ وحسب نظرية الموجة لم يكن من الواضح إن كان الضوء سيتأثر على الإطلاق بالجاذبية).

والحقيقة أنه ليس مما يتلام أن نتناول الضوء وكأنه مثل قذائف المدفع فى نظرية نيوتن للجاذبية، ذلك أن سرعة الضوء ثابتة. (قذيفة المدفع التى تُطلق من الأرض لأعلى، ستبطئ سرعتها بالجاذبية وفى النهاية فإنها ستقف لتسقط ثانية؛ إلا أن الفوتون لا بد أن يستمر لأعلى بسرعة ثابتة. كيف يمكن إذن لجاذبية نيوتن أن تؤثر فى الضوء؟) لم تأت نظرية متماسكة عن كيفية تأثير الجاذبية فى الضوء حتى طرح أينشتاين النسبية العامة فى ١٩١٥. وحتى آنذاك، فقد مر وقت طويل قبل أن تُفهم دلالات النظرية بالنسبة للنجوم الأضخم كتلة.

ومن أجل أن نفهم كيف يمكن أن يتكون ثقب أسود، نحتاج أولاً إلى أن نفهم بورة حياة النجم. فالنجم يتكون عندما تأخذ كمية كبيرة من الغاز (عادة الهيدروجين) فى التقلص على نفسها للداخل بسبب شد جاذبيتها. وبينما هى تتكشر فإن ذرات الغاز تصطدم إحداها بالأخرى بتواتر أكثر وأكثر وسرعات أكبر وأكبر - ويسخن الغاز. وفى النهاية يبلغ من سخونة الغاز أنه عندما تصطدم ذرات الهيدروجين فإنها لا تعود بعد مرتدة إحداها عن الأخرى، وإنما هى بدلا من ذلك تتلاحم لتكوّن الهيليوم. والحرارة التى تنطلق فى هذا التفاعل، والتى تشبه انفجاراً محكوماً لقنبلة هيدروجينية، هى ما يجعل النجم يسطح. وتؤدى هذه الحرارة الإضافية أيضاً إلى زيادة ضغط الغاز حتى يصبح الضغط كافياً للتوازن مع شد الجاذبية، ويتوقف الغاز عن الانكماش. والأمـر يشبه البالونة نوعاً - فثمة توازن بين ضغط الهواء من داخلها، الذى يحاول أن يجعل البالونة تتمدد، وتوتر المطاط، الذى يحاول أن يجعل البالونة أصغر. وتظل النجوم مستقرة هكذا زمناً طويلاً، وحرارة التفاعلات النووية توازن شد الجاذبية. على أنه فى النهاية، ينفد ما لدى النجم من الهيدروجين وغير ذلك من الوقود الذرى. ومن المفارقة، أنه كلما زاد الوقود الذى يبدأ به النجم، فإنه ينفد بسرعة أكبر. وسبب ذلك أنه كلما كان النجم أضخم كتلة، احتاج لأن يسخن أكثر ليوازن شد جاذبيته. وكلما زادت سخونته، فإنه يستنفد وقوده بأسرع. وشمسنا فيما يحتمل لديها من الوقود ما يكفى لخمسة آلاف مليون سنة أخرى أو ما يقرب من ذلك، إلا أن النجوم الأضخم يمكنها أن تستنفد وقودها فى زمن قليل من مثل مائة مليون سنة، وهذا أقل كثيراً من عمر الكون. وعندما ينفد وقود نجم، فإنه يبدأ فى أن يبرد وبالتالى فى أن ينكمش. ولم يُفهم ما يمكن أن يحدث له بعدها إلا لأول مرة عند نهاية عشرينيات هذا القرن.

ففى ١٩٢٨ كان طالب جامعى هندى، اسمه سبرامنيان تشاندراسيخار، يبحر إلى إنجلترا ليدرس فى كمبردج مع فلكى بريطانى هو سير آرثر إينجتون، أحد الخبراء فى النسبية العامة. (حسب إحدى الروايات، أخبر صحفى إينجتون فى أوائل العشرينيات أنه قد سمع أنه لا يوجد سوى ثلاثة أفراد فى العالم يفهمون النسبية العامة. وصمت إينجتون، ثم أجاب «إننى أحاول أن أتذكر من هو الشخص الثالث»). وأثناء رحلته من الهند، حسب تشاندراسيخار إلى أى حد يمكن للنجم أن يكون كبيرا ويظل مبقيا على نفسه ضد جاذبيته نفسها بعد أن يستنفد كل وقوده. والفكرة كالتالى: عندما يصبح النجم صغيرا، فإن جسيمات المادة تصبح متقاربة جدا من بعضها، وهكذا حسب مبدأ بولى للاستبعاد، فإنه ينبغي أن يكون لها سرعات مختلفة جدا. وهذا يجعلها تتحرك مبتعدة عن بعضها وهكذا فإنه ينزع لأن يجعل النجم يتمدد. فالنجم إذن يستطيع أن يبقى نفسه فى نصف قطر ثابت بالتوازن ما بين شد الجاذبية هو والتنافر الذى ينشأ عن مبدأ الاستبعاد، تماما مثلما كانت الجاذبية تتوازن بالحرارة فيما سبق من حياته.

على أن تشاندراسيخار تبين أن هناك حدا للتنافر الذى يمكن أن يعد به مبدأ الاستبعاد. ونظرية النسبية تحدد أقصى فارق فى سرعات جسيمات المادة فى النجم بأنه سرعة الضوء. ويعنى هذا أنه عندما يصبح النجم كثيفا بما يكفى، فإن التنافر الذى يسببه مبدأ الاستبعاد سيكون أقل من شد الجاذبية. وقد حسب تشاندراسيخار أن نجما باردا تزيد كتلته عما يقرب من ضعف كتلة الشمس مرة ونصف المرة لن يتمكن من الإبقاء على نفسه ضد جاذبيته نفسها. (تعرف هذه الكتلة الآن بأنها حد تشاندراسيخار). وقد تم اكتشاف مماثل فى نفس الوقت تقريبا بواسطة عالم روسى هو ليف دافيدوفتش لاندائو.

كان لهذا دلالات خطيرة بالنسبة للمصير النهائى للكواكب الضخمة. فإذا كانت كتلة النجم أقل من حد تشاندراسيخار فسيمكنه فى النهاية أن يتوقف عن الانكماش وأن يستقر فيما يحتمل فى حالة نهائية «كقزم أبيض» يكون نصف قطره آلاف معدودة من الأميال وكثافته مئات الأطنان لكل بوصة مكعبة. والقزم الأبيض يُبقى عليه حسب مبدأ الاستبعاد بالتنافر بين الإلكترونات التى فى مادته. ونحن نرصد عددا كبيرا من هذه النجوم القزمة البيضاء. وأحد أوائل ما اكتشف من هذه النجوم، نجم يدور من حولى الشعرى اليمانية المع نجم فى سماء الليل.

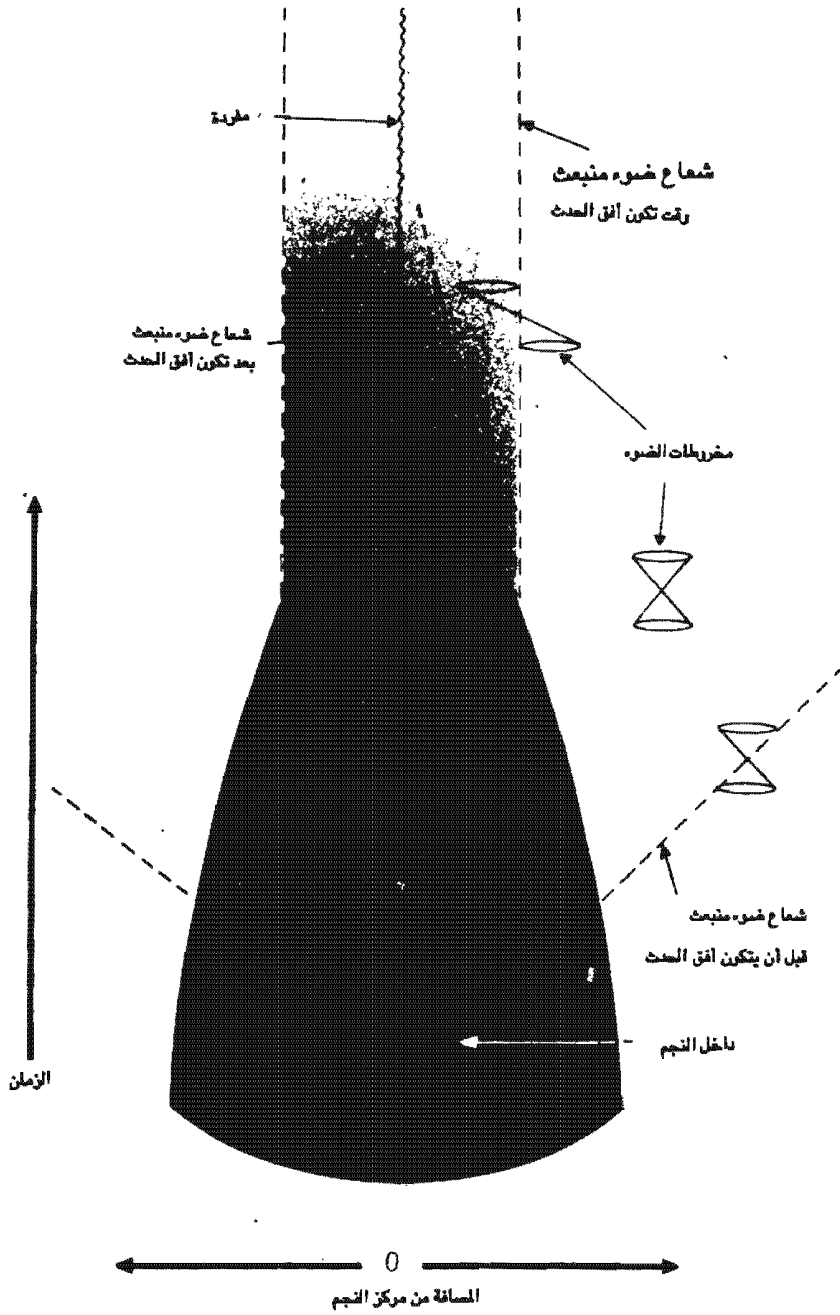
وقد بين لاندائو أن ثمة حالة نهائية أخرى محتملة للنجم والذى يكون أيضا بحد كتلة يقرب من ضعف أو ضعفى كتلة الشمس ولكنه يكون حتى أصغر جدا من القزم الأبيض. وهذه النجوم يُبقى عليها حسب مبدأ الاستبعاد بالتنافر بين النيوترونات والبروتونات بدلا من التنافر بين الإلكترونات. وإذلك فهي تسمى نجوم النيوترون. ويكون لها نصف قطر من عشرة أميال فقط أو ما يقرب من ذلك

وكثافتها مئات ملايين الاطنان لكل بوصة مكعبة. ووقت أن تم التنبؤ بنجوم النيوترونات لأول مرة، لم يكن ثمة طريقة يمكن رصد ما بها، ولم يتم اكتشافها بالفعل إلا بعد ذلك بكثير.

ومن الجانب الآخر، فإن النجوم التي تكون كتلتها فوق حد تشاندراسيخار يكون لديها مشكلة كبيرة عندما تصل إلى استنفاد وقودها. وفي بعض الحالات فإنها قد تتفجر أو تتمكن من أن تقذف بعيدا بقدر من المادة فيه ما يكفي لتخفيض كتلتها لأقل من الحد وبهذا تتجنب كارثة التقلص بالجاذبية، على أنه من الصعب الإيمان بأن هذا هو ما يحدث دائما، مهما كان كبير النجم. كيف للنجم أن يعرف أن عليه أن يخفض وزنه؟ وحتى لو تمكن كل نجم من أن يفقد من المادة ما يكفي لتجنب التقلص، فماذا سيحدث لو أنك أضفت كتلة أكثر إلى قزم أبيض أو نجم نيوترون لتصل به إلى ما يتجاوز الحد؟ هل سيتقلص إلى كثافة لا متناهية؟ لقد صُدم أدنجتون بهذه الدلالة، ورفض أن يصدق نتيجة تشاندراسيخار. فقد اعتقد أدنجتون أنه ببساطة لا يمكن لنجم أن يتقلص إلى نقطة. وكان هذا هو رأي معظم العلماء: وإينشتين نفسه قد كتب ورقة بحث زعم فيها أن النجوم لا تنكمش إلى حجم الصفر. أما تشاندراسيخار فإن ما كان من عداء العلماء الآخرين، وخاصة أدنجتون أستاذاه السابق والمرجع الثقة في بنية النجوم، قد حثه على أن يهجر هذا الخط من البحث وأن يلتفت بدلا من ذلك إلى مشاكل أخرى في علم الفلك، مثل حركة مجاميع النجوم. على أنه عندما منح جائزة نوبل في ١٩٨٣ كان ذلك، على الأقل جزئيا، بسبب بحثه المبكر على حد الكتلة للنجوم الباردة.

وتشاندراسيخار قد بين أن مبدأ الاستبعاد لا يمكن أن يوقف تقلص نجم كتلته أكبر من حد تشاندراسيخار، ولكن مشكلة فهم ما سيحدث لهذا النجم، حسب النسبية العامة، تم حلها لأول مرة بواسطة الأمريكي الشاب ووبرت أوبنهايمر في ١٩٣٩. على أن نتيجة بحثه قد دلت على أنه لن تكون ثمة نتائج من مشاهدات يمكن الكشف عنها بواسطة تليسكوبات ذلك العهد. ثم تدخلت الحرب العالمية الثانية وأصبح أوبنهايمر نفسه مشتركا اشتراكا وثيقا في مشروع القنبلة الذرية. أما بعد الحرب فقد تم نسيان مشكلة التقلص بالجاذبية على نحو واسع حيث أن معظم العلماء أصبحوا مشغولين بما يحدث على نطاق الذرة ونواتها. على أنه في ستينيات هذا القرن، عاد إحياء الاهتمام بالمشاكل التي على المقياس الكبير في علم الفلك والكواكب؛ وذلك بسبب تزايد هائل في عدد ومدى المشاهدات الفلكية، الأمر الذي تآتى باستخدام التكنولوجيا الحديثة. وهكذا أعيد اكتشاف بحث أوبنهايمر كما وسَّعه العديد من الأفراد.

والصورة التي لدينا الآن عن بحث أوبنهايمر هي كالتالي: يغير مجال جاذبية النجم مسارات أشعة الضوء في المكان - الزمان عما كانت ستكون عليه لو لم يكن النجم موجودا. ومخروطات



شكل ٦.١

الضوء، التي تدل على المسارات التي ستتبعها في المكان والزمان ومضات الضوء المنبعثة من أطرافها، تنقوس قليلا للداخل بالقرب من سطح النجم. ويمكن رؤية ذلك في إنحناء الضوء الآتي من النجوم البعيدة التي ترصد أثناء كسوف الشمس. وإذا ينكمش النجم، فإن مجال الجاذبية عند سطحه يصبح أقوى فتحنى مخروطات الضوء بأكثر للداخل. وهذا يزيد من صعوبة هروب الضوء من النجم. ويبدو الضوء أكثر اعتاما وأحمرارا للراصد البعيد. وفي النهاية، عندما ينكمش النجم إلى نصف قطر حرج معين، فإن مجال الجاذبية عند سطحه يصبح من القوة بحيث تنحنى مخروطات الضوء للداخل كثيرا حتى أن الضوء لا يستطيع فرارا بعدها (شكل ١، ٦). وحسب نظرية النسبية، فما من شيء يمكن أن يتحرك بأسرع من الضوء. وهكذا فإذا كان الضوء لا يستطيع فرارا، فما من شيء آخر يمكنه ذلك؛ ويُجر كل شيء وراء بواسطة مجال الجاذبية. وهكذا يصبح لدينا مجموعة من الأحداث، منطقة من المكان - الزمان، لا يمكن الفرار منها للوصول إلى راصد بعيد. وهذه المنطقة هي ما نسميه الآن ثقبا أسود. وحدها يسمى أفق الحدث وهو يتطابق مع مسارات أشعة الضوء التي فشلت في التوفي الفرار من الثقب الأسود.

وحتى تفهم ما سوف تراه لو كنت ترقب نجما يتقلص ليكون ثقبا أسود، فإن عليك أن تتذكر أنه في النظرية النسبية ليس ثمة زمان مطلق. وكل راصد لديه قياسه الخاص للزمان. والزمن عند شخص ما فوق أحد النجوم يكون مختلفا عن الزمن عند شخص آخر على مبعده، وذلك بسبب مجال جاذبية النجم. هب أن فلكيا جسورا على سطح نجم متقلص، وهو يتقلص معه للداخل. ويرسل إشارة كل ثانية، حسب ساعته، إلى سفينته الفضائية التي تدور حول النجم. وعند وقت ما حسب ساعته، وليكن مثلا الساعة ١١.٠٠، سينكمش النجم إلى ما هو أقل من نصف القطر الحرج الذي يصبح عنده مجال الجاذبية من القوة بحيث لا يستطيع أي شيء فرارا، وهكذا فإن إشاراته لن تصل بعد إلى سفينة الفضاء. وإن تقترب الساعة ١١.٠٠، فإن زملاؤه الذين يرقبونه من سفينة الفضاء سيجدون أن الفواصل التي بين الإشارات المتتالية الآتية من الفلكي تصبح أطول وأطول، ولكن هذا التأثير يكون صغيرا جدا قبل الساعة ١٠.٥٩.٥٩. وسيكون عليهم الانتظار لما يزيد فقط عن الثانية زيادة جد هينة بين إشارة الفلكي عند ١٠.٥٩.٥٨ وإشارة التي أرسلها عندما كانت ساعته تقرأ ١٠.٥٩.٥٩، إلا أنهم سيكون عليهم أن ينتظروا إلى الأبد لإشارة الساعة ١١.٠٠. فإشارات الضوء المنبعثة من سطح النجم بين ١٠.٥٩ و ١١.٠٠ حسب ساعة الفلكي، سوف تنتشر على فترة زمان لا متناهية، كما يُرى من سفينة الفضاء. والفواصل الزمنية بين وصول الموجات المتتابة إلى سفينة الفضاء سيصبح أطول وأطول، وهكذا يبدو الضوء الصادر من النجم أكثر وأكثر أحمرارا وشحوبا. وفي النهاية يصبح النجم معتما بدرجة أنه لا يمكن بعد رؤيته من سفينة الفضاء؛ وكل ما سيخلفه هو ثقب أسود في الفضاء. على أن النجم سيواصل ممارسة نفس قوة

جاذبيته على سفينة الفضاء، التي ستواصل الدوران حول الثقب الأسود.

على أن هذا السيناريو ليس واقعيًا بالكامل، وذلك بسبب المشكلة التالية. إن الجاذبية تزيد ضعفًا كلما ابتعدت عن النجم، وهكذا فإن قوة الجاذبية عند قدمي فلكيّا الجسور ستكون دائمًا أعظم مما عند رأسه. وفارق القوى هذا سيمط فلكيّا ليصبح مثل الأسباجتي أو يمزقه بدءًا قبل أن ينكمش النجم إلى نصف قطره الحرج الذي يتشكل عنده أفق الحدث! على أننا نعتقد أن هناك في الكون أشياء أكبر كثيرًا، مثل المناطق المركزية في المجرات، هي أيضًا يمكن أن تخضع للتقلص بالجاذبية لتنتج ثقوبًا سوداء؛ وإذا كان ثمة فلكي فوق واحد منها فإنه لن يتمزق بدءًا قبل أن يتكون الثقب الأسود. فهو في الحقيقة لن يحس بأي شيء خاص عند الوصول إلى نصف القطر الحرج، ويمكنه أن يتجاوز نقطة اللاعودة دون أن يلحظها. على أنه في خلال ساعات معدودة فحسب، إذ تستمر المنطقة في التقلص، سيصبح الفارق بين قوى الجاذبية عند رأسه وقدميه من القوة بحيث أنه سيمزقه بدءًا مرة أخرى.

وقد بين البحث الذي قام به روجر بنروز وإي. بي. بين ١٩٦٥، ١٩٧٠، أنه حسب النسبية العامة، يجب أن يكون من داخل الثقب الأسود مفردة من اللاتناهي في الكثافة وانحناء المكان - الزمان. ويكاد هذا يشبه الانفجار الكبير عند بدء الزمان، إلا أنه سيكون نهاية الزمان للجسم المتقلص والفلكي. وعند هذه المفردة تنهار قوانين العلم وقدرتنا على التنبؤ بالمستقبل. على أن أي ملاحظ يبقى خارج الثقب الأسود لن يتأثر بهذا العجز في القدرة على التنبؤ، لأنه لا الضوء ولا أي إشارة أخرى يمكن أن تصل إليه من المفردة. وهذه الحقيقة البارزة قد أدت بروجر بنروز إلى أن يطرح فرض الرقابة الكونية، الذي يمكن إعادة صياغته بأن «المفردة العارية هي أمر ممقوت». وبكلمات أخرى فإن المفردات التي ينتجها التقلص بالجاذبية تحدث فقط في الأماكن من مثل الثقوب السوداء، حيث يتم إخفاؤها بصورة مهيبة عن الرؤية من الخارج وذلك بواسطة أفق الحدث. وعلى وجه الدقة، فإن هذا هو ما يعرف بفرض الرقابة الكونية الضعيف: وهو يحمي الملاحظين الذين يبقون خارج الثقب الأسود من نتائج انهيار القدرة على التنبؤ الذي يحدث عند المفردة، ولكنه لا يفعل شيئًا على الإطلاق بالنسبة للفلكي المتعصب البائس الذي يهوى لدخول الثقب.

وهناك بعض الحلول لمعادلات النسبية العامة يحتمل فيها لفلكيّا أن يرى مفردة عارية: فهو قد يتمكن من تجنب الوقوع في المفردة ويسقط بدلًا من ذلك في «ثقب بودي» worm hole ليخرج إلى منطقة أخرى من الكون. وسيقدم هذا إمكانات هائلة لتسفر في الفضاء والزمان، ولكن، وأسوء الحظ، يبدو أن هذه الطول تكون كلها غير مستقرة إلى درجة كبيرة؛ وأقل اضطراب يحدث، من مثل وجود أحد علماء الفلك، قد يغير فيها بحيث لا يستطيع الفلكي أن يرى المفردة حتى

يصطدم بها ويصل زمانه إلى نهايته. وبكلمات أخرى، فإن المفردة ستقع دائما في مستقبله ولا تقع قط في ماضيه. والنسخة القوية لفرض الرقابة الكونية تقرّر أنه في الحل الواقعي ستقع المفردات دائما إما في المستقبل بالكلية (مثل مفردات التقلص بالجاذبية) أو في الماضى بالكلية (مثل الانفجار الكبير). ومما يؤمل أملا كبيرا أن تصبح نسخة ما من فرضى الرقابة لأن الاقتراب من المفردات العارية قد يمكن من السفر في الماضى. وإذا كان هذا شيئا رائعا لمؤلفى الروايات العلمية، فإنه يعنى أنه لن تكون حياة أى شخص آمنة قط: فقد يمضى أحدهم إلى الماضى ويقتل أباه أو أمك قبل أن يُحمل بك!

وَأفق الحدث، حد منطقة المكان - الزمان التى لا يمكن الفرار منها، يعمل بما يشبه غشاء حول الثقب الأسود يكون المرور منه فى اتجاه واحد : فالأشياء من مثل الفلكيين المتهورين، يمكن أن تسقط من خلال أفق الحدث إلى داخل الثقب الأسود، ولكن شيئا لن يتمكن قط من الخروج من الثقب الأسود من خلال أفق الحدث. (تذكر أن أفق الحدث هو مسار فى المكان - الزمان للضوء الذى يحاول الهروب من الثقب الأسود، ولا شئ يمكن أن ينتقل بأسرع من الضوء). ويمكن للمرء أن يقول عن أفق الحدث نفس ما قاله دانتى عند مدخل الجحيم : «ودّع كل أمل، يامن ستدخل هنا». وأى شئ أو فرد يهوى من خلال أفق الحدث سيصل إلى منطقة الكثافة اللامتناهية ونهاية الزمان.

تتنبأ النسبية العامة بأن الأشياء الثقيلة التى تتحرك تسبب انبعاث موجات جانبية، تموجات فى منحنى المكان تتنقل بسرعة الضوء. وهى تماثل موجات الضوء، التى هى تموجات فى المجال الكهرومغناطى، ولكنها أصعب كثيرا فى الكشف عنها. وهى كالضوء تحمل الطاقة بعيدا عن الأشياء التى تبعثها. وإنّ فإن المرء يتوقع أن نسقا معيننا من أشياء ضخمة سوف يستقر به الأمر فى النهاية إلى حالة ثابتة، لأن الطاقة التى فى أى حركة سيتم حملها بعيدا بانبعاث موجات الجاذبية. (والأمر يشبه إسقاط قطعة فلين فى الماء: فهى فى أول الأمر تهتز لأعلى وأسفل بقدر كبير، ولكن إذ تحمل التموجات طاقتها بعيدا، فإنها فى النهاية تستقر فى حالة ثابتة). وكذلك، فإن حركة الأرض فى مدارها حول الشمس تُنتج أمواج جانبية. وتأثير فقدان الطاقة هو أن يتغير مدار الأرض بحيث أنها تدريجيا تزيد وتزيد قربا من الشمس، وتصطدم بها فى النهاية، وتستقر فى حالة ثابتة. ومعدل فقدان الطاقة فى حالة الأرض والشمس هو معدل بطى جدا - يقارب ما يكفى لتشغيل سخان كهربى صغير. ويعنى هذا أن الأرض ستستغرق ما يقرب من ألف مليون مليون مليون سنة لتجرى إلى داخل الشمس، وهكذا فليس من سبب مباشر للإنزعاج! وتغير مدار الأرض هو أبطأ من أن يُلاحظ، على أنه قد لوحظ فى السنوات الملعودة الماضية أن هذا التأثير نفسه يحدث فى نسق يسمى PSR 1913 + 16 (ترمز إلى psr «الناضب» وهو نوع خاص من

نجم النيوترون يبت نبضات منتظمة من موجات الراديو). ويحوى هذا النسق نجمى نيوترون يدور كل منهما حول الآخر، والطاقة التى يفقدانها ببث موجات الجاذبية تجعلهما يتحركان لولبيا للداخل أحدهما فى اتجاه الآخر.

وأثناء تقلص أحد النجوم بالجانبية ليكون ثقبا أسود، ستكون الحركات أسرع كثيرا، وهكذا فإن معدل حمل الطاقة بعيدا سيكون أعلى كثيرا. وهكذا لن يمضى زمن جد طويل قبل أن يستقر فى حالة ثابتة. كيف ستبدو هذه المرحلة النهائية؟ للمرء أن يفترض أنها سوف تعتمد على كل قسمات النجم المركبة التى يتكون منها - ليس فحسب كتلته ومعدل دورانه، وإنما أيضا الكثافات المختلفة لأجزاء النجم المختلفة، والحركات المعقدة للغازات من داخل النجم. ولو كانت الثقوب السوداء تتباين مثل الأشياء التى تقلصت لتكوينها، فإنه قد يكون من الصعب جدا إقامة أى تنبؤات عن الثقوب السوداء عامة.

على أنه فى ١٩٦٧، نُصِّرت دراسة الثقوب السوداء على يد ويرنر إسرائيل، وهو عالم كندى (ولد فى برلين ونشأ فى جنوب أفريقيا، ونال درجته للدكتوراه فى إيرلندا). وقد بين إسرائيل، أنه حسب النسبية العامة، يجب أن تكون الثقوب السوداء غير الدوارة بسيطة جدا؛ فهى كروية على نحو كامل، وحجمها يعتمد فقط على كتلتها، وأى ثقبين أسودين هكذا ولهما نفس الكتلة يكونان متطابقين. والحقيقة أنهما يمكن توصيفهما حسب حل معين لمعادلات أينشتاين مما كان معروفا منذ ١٩١٧، ووجده كارل شوارتز تشيلد بعد اكتشاف النسبية العامة بزمان قصير. وفى أول الأمر حاج أناس كثيرون، بما فيهم إسرائيل نفسه، بأنه حيث أن الثقوب السوداء يلزم أن تكون كروية على نحو كامل، فإن الثقب الأسود لا يمكن أن يتكون إلا من تقلص شئ كروى على نحو كامل. وإن كان أى نجم حقيقى - الذى لا يمكن أن يكون قط كرويا على نحو كامل - لا يستطيع أن يتقلص إلا ليشكل مفردة عارية.

على أن ثمة تفسيراً مختلفاً لنتيجة إسرائيل، قد اتخذها بالذات روجر بنروز وجون هويلر. فقد حاجا بأن الحركات السريعة التى تشارك فى تقلص النجم تعنى أن موجات الجاذبية التى أطلقها سوف تجعله دائما أكثر كروية، وعند الوقت الذى سوف يستقر فيه إلى حالة ثابتة، فإنه سيكون كرويا بالضبط. وحسب هذه النظرية فإن أى نجم غير دوار، مهما كان تعقد شكله وبنية الداخلية، سينتهى بعد التقلص بالجاذبية إلى ثقب أسود كامل الكروية، ولا يعتمد حجمه إلا على كتلته. وقد دعت حسابات أخرى من هذه النظرة وسرعان ما تم اتخاذها بصورة عامة.

ونتيجة إسرائيل تتناول حالة الثقوب السوداء التى تتكون فقط من أجسام غير دوارة. وفى ١٩٦٢ وجد روى كير النيوزلندى مجموعة حلول للمعادلات النسبية العامة توصف الثقوب السوداء

النوازة، وثقوب «كبير» السوداء هذه تدور بمعدل ثابت، وحجمها وشكلها يعتمدان فقط على كتلتها ومعدل دورانها. فإذا كان الدوران صفرا، يكون الثقب الأسود كامل الاستدارة، ويكون الحل مطابقا لحل شوارتز تشيلد. وإذا كان الدوران ليس بصفر، فإن الثقب الأسود ينبعج للخارج قرب خط استوائه (تماما مثلما تنبعج الأرض أو الشمس بسبب دورانهما)، وكلما زادت سرعة دورانه، زاد انبعاجه. وهكذا فحتى تُوسَّع نتيجة إسرائيل لتشمل الأجسام الدوارة، حُدس أن أى جسم نوار يتقلص ليكون ثقبا أسود يستقر فى النهاية إلى حالة ثابتة مما وصفه حل كير.

وفى ١٩٧٠ قام زميل وطالب بحث عندى فى كمبردج، وهو براندون كارتر، باتخاذ أول خطوة نحو إثبات هذا الحدس. وقد بين أنه، مع شرط أن يكون الثقب الأسود الدوار المستقر له محور سمترية، مثل نروة تليف، فإن شكله وحجمه سيعتمدان فقط على كتلته ومعدل دورانه. ثم أثبت أنا فى ١٩٧١ أن أى ثقب أسود دوار مستقر سيكون له حقا محور السمترية هذا. وأخيرا فإن دافيد روبنسون بكلية الملك فى لندن استخدم فى ١٩٧٣ نتائج كارتر ونتائج ليبين أن الحدس كان صحيحا: إن ثقبا أسود هكذا يلزم حقا أن يكون حسب حل كير. وهكذا فإنه بعد التقلص بالجاذبية يجب أن يستقر الثقب الأسود فى حالة يمكن له فيها أن يدور ولكنه لا ينبض. وفوق ذلك، فإن حجمه وشكله سيعتمدان فقط على كتلته ومعدل دورانه، وليس على طبيعة الجسم الذى تقلص ليكونه. وقد أصبحت هذه النتيجة معروفة بأنها قاعدة أن «الثقب الأسود ليس له شعر». ونظرية «اللاشعر» لها أهمية تطبيقية عظيمة، لأنها تحدد تحديدا كبيرا الأنواع الممكنة من الثقوب السوداء. ويستطيع المرء إذن أنه يصنع نماذج مفصلة للأشياء التى قد تحوى ثقوب سوداء ويقارن التنبؤات من النماذج بالملاحظات. ويعنى هذا أيضا أن قدرا كبيرا جدا من المعلومات عن الجسم الذى تقلص، يضيع ولا بد عندما يتكوّن الثقب الأسود، لأن كل ما يحتمل أنه سيمكننا قياسه بعدها بشأن الجسم سيكون كتلته ومعدل دورانه. ومغزى هذا سيمكننا رؤيته فى الفصل التالى.

والثقوب السوداء هى واحدة من عدد صغير نوعا من الحالات فى تاريخ العلم حيث تنشأ إحدى النظريات بتفصيل عظيم كنموذج رياضى قبل أن يكون هناك أى برهان من الملاحظات على صحتها. والحقيقة أن هذه كانت الحجة الرئيسية المعتادة لمعارضى الثقوب السوداء. كيف يمكن للمرء أن يؤمن بأشياء البرهان الوحيد عليها هو حسابات تتأسس على نظرية النسبية العامة المشكوك فى أمرها ؟ على أنه فى ١٩٦٣، قام مارتن شميدت، الفلكى فى مرصد بالومار بكاليفورنيا، بقياس الإزاحة الحمراء لشيء شاحب يشبه النجم فى اتجاه مصدر موجات الراديو المسماة 3C273 (أى المصدر رقم ٢٧٣ فى كتالوج كمبردج الثالث عن مصادر الراديو). وقد وجد أنه أكبر جدا من أن يتسبب عن مجال الجاذبية : ولو كانت هذه إزاحة حمراء بالجاذبية، لكان ينبغى

أن يكون الشيء خفضا جدا، وتقريبا منا جدا بحيث أنه كان سيثير الاضطراب في مدارات كواكب النظام الشمسي. وهذا يدل على أن هذه الإزاحة الحمراء قد نجمت بدلا من ذلك عن تمدد الكون، الأمر الذي يعنى بدوره أن ذلك الشيء بعيد بمسافة طويلة جدا، وحتى يكون الشيء مرئيا على مسافة عظيمة هكذا، فإنه يجب أن يكون لامعا جدا، وبكلمات أخرى فإنه يجب أن ييث قنرا هائلا من الطاقة. والآلية الوحيدة التي يمكن للناس أن يتصوروا أنها تنتج هذه الكميات الكبيرة من الطاقة هي فيما يبدو التقلص الجاذبية لا لنجم فحسب بل لمنطقة مركزية بكاملها في إحدى المجرات. وقد تم اكتشاف عدد آخر مما يماثل ذلك من الأشياء شبه النجمية، أو الكوازارات quasars، وكلها لها إزاحة حمراء كبيرة. ولكنها جميعا بعيدة جدا وبالتالي يصعب جدا رصدها حتى تمدنا بالبرهان القاطع على الثقوب السوداء.

وفي ١٩٦٧ أتى تشجيع جديد لوجود الثقوب السوداء مع اكتشاف طالبة بحث في كمبريدج، هي جوسلين بل، لأشياء في السماء تبث نبضات منتظمة من موجات الراديو. وقد ظنت بل في أول الأمر، هي وأنتوني هيويس الذي كان يشرف عليها، أنهما ربما قد وصلا إلى الاتصال بمدينة غريبة في المجرة والحقيقة أني أنكر أنهما في الندوة التي أعلننا فيها اكتشافهما قد سعيا المصادر الأربعة الأولى التي وجدها LGM 1-4، وترمز LGM للرجال الأخضر الصغار Little Green men. على أنهما في نهاية الأمر، وصلا هما وكل واحد آخر إلى استنتاج أقل رومانسية بشأن هذه الأشياء، التي أعطيت اسم «النبضات»، وهي في الحقيقة نجوم نيوترون دوارة تبث نبضات من موجات الراديو بسبب تفاعل معقد بين مجالاتها الكهرومغناطية والمادة المحيطة وكان في هذا أنباء سيئة للغاية مقامرات الفضاء، ولكن فيه ما يثير أكبر الأمل للعدد الصغير الذي كان يؤمن بالثقوب السوداء آنذاك: فقد كان هذا أول برهان إيجابي على وجود نجوم النيوترون. ونجم النيوترون له نصف قطر من حوالى عشرة أميال، وهو لا يبلغ إلا القليل من تضاعفات نصف القطر الحرج الذي يصبح النجم عنده ثقبا أسود. وإذا أمكن لنجم أن يتقلص إلى مثل هذا الحجم الصغير. فليس من غير المعقول أن نتوقع أن نجوما أخرى يمكنها أن تتقلص حتى لحجم أصغر وتصبح ثقوبا سوداء.

كيف يمكننا أن نحاول الكشف عن ثقب أسود، حيث أنه حسب تعريفه ذاته لا ييث أى ضوء؟ قد يبدو الأمر نوعا من البحث عن قطة سوداء في قبو للفحم. ولحسن الحظ فإن ثمة طريقة لذلك. فكما بين جون متشيل في ورقة بحثه الرائدة في ١٧٨٢، يظل الثقب الأسود يمارس قوة الجاذبية على الأشياء القريبة منه. وقد رصد الفلكيون أنسقة كثيرة يدور فيها نجمان أحدهما حول الآخر، حيث يتجاذبان أحدهما الآخر بواسطة الجاذبية. وهم قد رصدوا أيضا أنسقة لا يكون فيها إلا نجم

واحد مرئى يدور من حول رفيق له غير مرئى. ولا يستطيع المرء بالطبع أن يستنتج مباشرة أن هذا الرفيق هو ثقب أسود: فقد يكون مجرد نجم أشحب من أن يرى. على أن بعض هذه الأنسقة مثل ذلك الذى يسمى Cygnus x - 1 (شكل ٦.٢) هى أيضا مصادر قوية لأشعة إكس. وأحسن تفسير لهذه الظاهرة هو أن المادة قد نفخت من على سطح النجم المرئى. وهى إذ تسقط فى اتجاه الرفيق غير المرئى، تنشئ حركة لولبية (تكاد تشبه ماء يجرى خارج حمام)، وتصبح ساخنة للغاية، وتبث أشعة إكس (شكل ٦.٢). وحتى تعمل هذه الآلية، يجب أن يكون الشئ غير المرئى صغيرا جدا مثل قزم أبيض، أو نجم نيوترون، أو ثقب أسود. ويمكن للمرء من المدار المرصود للنجم المرئى، أن يحدد أقل كتلة ممكنة للشئ غير المرئى. وفى حالة Cygnus x-1 وجد أن هذه تبلغ ما يقارب ستة أمثال كتلة الشمس، وهذا حسب نتيجة تشاندراسيخار أضخم كثيرا من أن يكون الشئ غير المرئى قزما أبيض. وهى أيضا كتلة أكبر كثيرا من أن تكون نجم نيوترون. ويبدو إذن أنها ولا بد ثقب أسود.



شكل ٦.٢

النجم الأسطع من النجمين القريبين من منتصف الصورة هو Cygnus x-1 الذى يُعتقد أنه يتكون من ثقب أسود ونجم طبيعى، يدور كل منهما حول الآخر

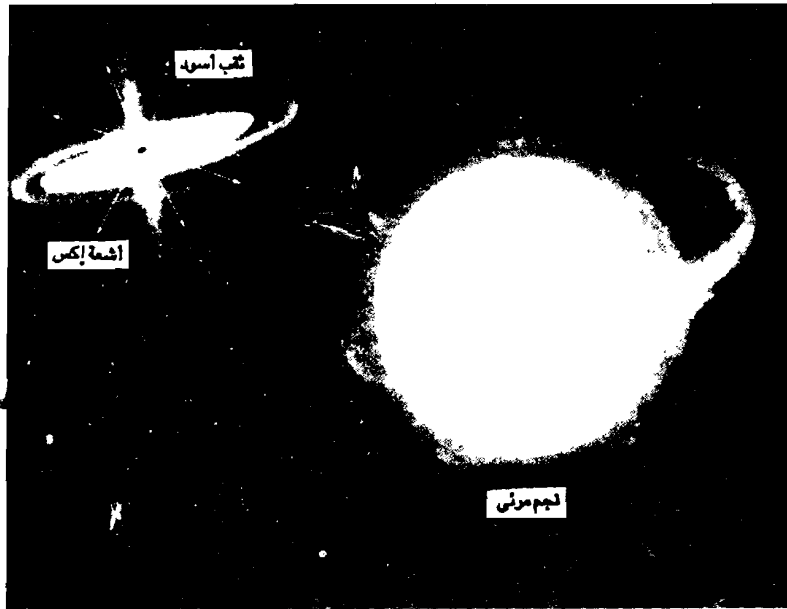
وثمة نماذج أخرى لتفسير 1 - Cygnus x لا تتضمن ثقبا أسود، ولكنها كلها بعيدة الاحتمال نوعا، ويبدو أن الثقب الأسود هو التفسير الطبيعي الحقيقي الوحيد للمشاهدات. ورغم هذا، قام رهان بيني وبين كيب ثورن، الذي يعمل في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، على أن Cyg-1 x - 1 nu\$ في الحقيقة لا يحوى ثقبا أسود! وهذا نوع من بوابضة تأمين لصالحى. فقد قمت بالكثير من البحث على الثقوب السوداء، وسيضيع كله هباء لو ثبت فى النهاية أنه لا توجد ثقوب سوداء. ولكنى فى هذه الحالة سيعزىنى أنى سلكسب رهانا يجلب لى مجلة «العين الخاصة» لمدة أربعة أعوام. وإذا كانت الثقوب السوداء موجودة بالفعل، فسوف ينال كيب مجلة «بنتهاوس» لمدة سنة. وعندما تراهنا فى ١٩٧٥، كنا متاكدين بنسبة ٨٠ فى المائة من أن 1-Cygnus-x هو ثقب أسود. وفى وقتنا هذا، يمكننى القول بأننا متاككون بما يقرب من ٩٥ فى المائة، على أن الرهان لم يُحسم بعد.

ونحن لدينا الآن أيضا برهان على ثقوب سوداء أخرى عديدة فى أنساق مثل Cygnus 1 - x فى مجرتنا وفى مجرتين متجاورتين يسميان «السحب الماجلانية». على أنه يكاد يكون مؤكدا أن عدد الثقوب السوداء هو أكبر كثيرا جدا من ذلك؛ ففى تاريخ الكون الطويل، يجب أن تكون نجوم كثيرة قد أحرقت كل وقودها النووى وأصبح عليها أن تنفصل. وقد يكون عدد الثقوب السوداء حتى أعظم كثيرا من عدد النجوم المرئية، الذى يصل إلى ما يقرب من مائة ألف مليون فى مجرتنا وحدها. وشهد الجانبية الإضافى لمثل هذا العدد الكبير من الثقوب السوداء يمكن أن يفسر السبب فى أن مجرتنا تدور بالمعدل الذى تدور به: فكتلة النجوم المرئية لا تكفى لتفسير ذلك. ولدينا أيضا بعض دليل على أن ثمة ثقبا أسود أكبر كثيرا؛ له كتلة تقرب من مائة ألف ضعف لكتلة الشمس، وذلك عند مركز مجرتنا. ونجوم المجرة التى تقترب قريبا شديدا من هذا الثقب الأسود ستتمزق بددا بسبب فارق قوى الجاذبية على جانبيها القريب والبعيد. وبقيائها، هى الغاز الذى يلقي به بعيدا من النجوم الأخرى، ستهوى تجاه الثقب الأسود. وكما فى حالة 1-Cygnus x، فإن الغاز سيدور لولبيا للداخل وتزيد سخونته، وإن لم يكن ذلك كثيرا بعمل ما فى تلك الحالة. فهو لن يسخن بما يكفى لبث أشعة إكس ولكنه يمكن أن يفسر ذلك المصدر، بالغ الموج، لموجات الراديو والأشعة تحت الحمراء الذى يُرصد عند مركز المجرة.

ومن المعتقد أن ثقوبا سوداء مماثلة، وإن كانت حتى أكبر وتصل كتلتها إلى ما يقرب من مائة مليون ضعف لكتلة الشمس، هى مما يحدث عند مراكز الكوازارات. والمادة التى تقع لداخل ثقب أسود فائق الضخامة هكذا، تمد بالمصدر الوحيد للقوة التى تبلغ من الكبر ما يكفى لتفسير الكميات الهائلة من الطاقة التى تبثها هذه الأشياء. وإن تدور المادة لولبيا لداخل الثقب الأسود، فإنها تجعل

الثقب يدور في نفس الاتجاه، مما يجعله ينشئ مجالا مغناطيسيا يشبه نوعا مجال الأرض. وتتولد جسيمات طاقة عالية جدا قرب الثقب الأسود بواسطة المادة التي تهوى للداخل. ويكون المجال المغناطيسي من القوة بحيث يمكنه تركيز هذه الجسيمات في نافورات تُنفث للخارج على طول محور دوران الثقب الأسود، أي في اتجاهي تطبيه الشمالي والجنوبي. وقد رصدت نفثات كهذه حقاً في عدد من المجرات والكوازارات.

ويمكن للمرء أن ينظر أيضا في إمكانية أن قد توجد ثقوب سوداء كتلتها تقل كثيرا عن كتلة الشمس. ومثل هذه الثقوب السوداء لا يمكن أن تتكوّن بالتقلص بالجاذبية، لأن كتلتها أقل من حد كتلة تشاندراسيخار؛ والنجوم التي بهذه الكتلة الصغيرة يمكن لها أن تبقى على نفسها ضد قوة الجاذبية حتى عندما تستنفد وقودها النووي. والثقوب السوداء ذات الكتلة الصغيرة لا يمكن أن تتكوّن إلا إذا كانت المادة مضغوطة إلى كثافة هائلة بواسطة ضغوط خارجية كبيرة جدا. وظروف مثل هذه يمكن أن تحدث في قنبلة هيدروجينية كبيرة جدا : وقد حسب الفيزيائي جون هويلر ذات مرة أنه لو أخذ المرء كل الماء الثقيل في كل محيطات العالم، فإنه يستطيع أن يبني قنبلة هيدروجينية تضغط المادة عند المنتصف ضغطا شديدا بحيث يتخلق ثقب أسود. (بالطبع لن يكون هناك أحد قد بقي لرصده!) وثمة إمكانية عملية بأكثر وهي أن هذه النجوم السوداء ذات الكتلة



شكل ٦.٣

الصغيرة ربما تكونت في الحرارة والضغط العالية للكون المبكر جدا. وما كانت الثقوب السوداء لتتكون إلا والكون المبكر ليس مستويا ولا متسقا إلى حد الكمال، ذلك أنه لا يمكن أن ينضغط على هذا النحو لتكوين ثقب أسود إلا منطقة صغيرة من الكون تكون لها كثافة أكبر من المتوسط. ولكننا نعلم أنه قد كان هناك ولا بد بعض أوجه من عدم الانتظام، والسبب أنه بغير ذلك فإن المادة في الكون ستكون موزعة بانتساق كامل في العهد الحالي، بدلا من أن تتكتل معا في نجوم ومجرات.

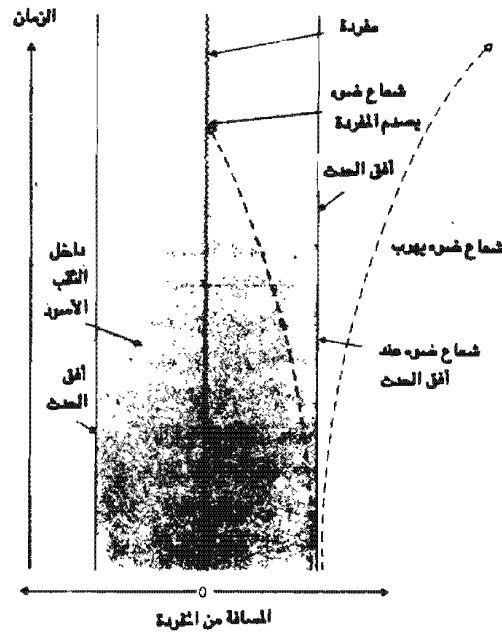
ومسألة إذا كانت أوجه عدم الانتظام المطلوبة لتفسير النجوم والمجرات قد أدت إلى تكوين عدد له مفزاه من الثقوب السوداء «البدائية»، تعتمد بوضوح على تفاصيل الظروف في الكون المبكر. وهكذا فلو أمكننا أن نحدد عدد الثقوب السوداء البدائية الموجودة الآن، فسوف نتمكن من تعلم الشيء الكثير عن المراحل المبكرة جدا للكون. والثقوب السوداء البدائية التي تزيد كتلتها عن ألف مليون طن (كتلة جبل كبير) لا يمكن الكشف عنها إلا بتأثير جاذبيتها، على مادة أخرى مرئية أو على تمدد الكون. على أن الثقوب السوداء، كما سنعرف في الفصل التالي، هي رغم كل شيء ليست حقا سوداء: فهي تتوهج كالجسم الساخن، وكلما صغر حجمها زاد توهجها. وهكذا، وبالمفارقة، فقد يثبت فعلا في النهاية أن الثقوب السوداء الأصغر يكون الكشف عنها أسهل من الثقوب السوداء الكبيرة!



الثقوب السوداء ليست جد سوداء

قبل ١٩٧٠، كان بحثى فى النسبية العامة يتركز أساسا على مسألة ما إذا كان أو لم يكن ثمة مفردة انفجار كبير. على أنى فى أحد أمسيات نوفمبر من ذلك العام، بعد ميلاد ابنتى لوسى بزمان قصير أخذت أفكر فى شأن الثقوب السوداء وأنا أتهيا للنوم، وعجزى يجعل من ذلك عملية بطيئة نوعا، وهكذا يكون لدى فسحة من الوقت وفى ذلك الحين لم يكن ثمة تعريف دقيق عن أى النقاط فى المكان - الزمان تقع داخل الثقب الأسود وأيها تقع خارجه. وكنت من قبل قد ناقشت مع روجر بنروز فكرة تعريف الثقب الأسود كمجموعة من الأحداث التى لا يمكن الفرار منها إلى مسافة بعيدة، وهذا هو التعريف المقبول حاليا بعامة. وهو يعنى أن حد الثقب الأسود، أفق الحدث، يتكون من مسارات أشعة الضوء فى المكان - الزمان التى تخفق فى التوفى أن تهرب بعيدا عن الثقب الأسود، محومة إلى الأبد على الحرف بالضبط (شكل ١، ٧). والأمريشبه إلى حد ما الهروب بعيدا من الشرطة مع التمكن فحسب من المحافظة على الابتعاد عنهم بخطوة واحدة أمامهم ولكن دون التمكن من التخلص منهم بعيدا!

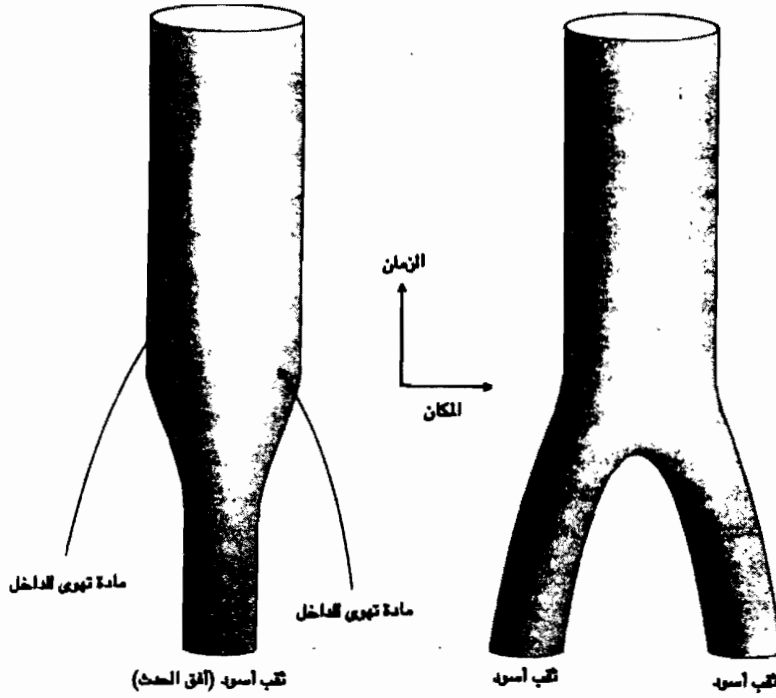
وفجأة تبين أن مسارات أشعة الضوء هذه لا يمكن قط أن يقترب أحدها من الآخر. ولو فعلت، فإنها فى النهاية لا بد أن يصطدم أحدها بالآخر. وسيكون الأمر مثل ملاقاته شخص آخر يهرب بعيدا عن الشرطة فى الاتجاه المضاد - فسوف يتم إلقاء القبض عليكما معا! (أو أنكما فى هذه الحالة ستقعان فى الثقب الأسود). ولكن لو أن أشعة الضوء هذه تم ابتلاعها بواسطة الثقب الأسود، فإنها وقتها لن يمكنها أن توجد عند حد الثقب الأسود. وهكذا فإن مسارات أشعة الضوء فى أفق الحدث يلزم أن تتحرك دائما وأحدها يتوازى مع الآخر أو يبتعد عن الآخر. والطريقة الأخرى لرؤية ذلك هى أن أفق الحدث، حد الثقب الأسود، هو مثل حرف أحد الظلال - ظل القمر الوشيك، ولو نظرت إلى الظل الذى يلقيه مصدر على مسافة هائلة مثل الشمس، فسوف ترى أن أشعة الضوء فى الحرف لا يقترب أحدها من الآخر.



شكل ٧، ١

وإذا كانت أشعة الضوء التي تكون أفق الحدث، حد الثقب الأسود، لا تستطيع قط أن يقترب أحدها من الآخر، فإن مساحة أفق الحدث قد تبقى كما هي أو تزيد بمرور الزمن، ولكنها لا يمكن قط أن تقل - لأن هذا سيعني أن بعضاً على الأقل من أشعة الضوء التي عند الحد سيلزم أن يقترب أحدها من الآخر. والحقيقة أن المساحة ستزيد كلما سقطت مادة أو إشعاع في الثقب الأسود (شكل ٧، ٢) أو إذا اصطدم ثقبان أسودان واندماجا معا ليكوّنا ثقباً أسود واحداً، فستكون مساحة أفق الحدث للثقب الأسود النهائي أعظم أو مساوية لمجموع مساحتي أفقي الحدث للثقبين الأسودين الأصليين (شكل ٧، ٣). فخاصية عدم نقصان مساحة أفق الحدث تضع قيداً مهماً على السلوك المحتمل للثقوب السوداء. وانفعلت بالغ الانفعال باكتشافى حتى أنى لم أتم كثيراً تلك الليلة. وفي اليوم التالي تلفنت لروجر بنروز. واتفق معى فى الرأى. واعتقد أنه فى الحقيقة كان متنبها لخاصية المساحة هذه. على أنه كان يستخدم تعريفاً للثقب الأسود يختلف اختلافاً بسيطاً. وهو لم يتبين أن حدود الثقب الأسود ستكون حسب التعريفين هي نفسها، وبالتالي فإن مساحاتها ستكون كذلك، بشرط أن يكون الثقب الأسود قد استقر على حالة لا يتغير فيها بالزمن.

وسلوك عدم نقصان مساحة الثقب، الأسود فيه ما يذكر كثيراً بسلوك كم فيزيائى يسمى



شكل ٧، ٢

شكل ٧، ٣

الانتروبيا Entropy التي تقيس درجة اضطراب أحد النظم. ومن أمور الخبرة المشتركة أن الاضطراب ينزع إلى أن يتزايد عندما تترك الأشياء لذاتها. (وحتى يرى المرء ذلك فليس عليه إلا أن يتوقف عن القيام بإصلاح ما حوله بالمنزل!) ويمكن للمرء أن يخلق النظام من الاضطراب (فيمكن للمرء مثلاً أن يطلى المنزل)، ولكن هذا يتطلب إنفاق جهد أو طاقة، ويقلل هكذا من قدر الطاقة المنظمة المتاحة.

والمقولة الدقيقة عن هذه الفكرة تُعرف بالقانون الثاني للديناميكا الحرارية. وهو يقرر أن الانتروبيا في نظام مغزل تتزايد دائماً، وأنه عندما يتجد نظامان معاً، فإن انتروبيا النظام المتحد تكون أكبر من حاصل جمع انتروبيا النظامين الفرديين. ولننظر مثلاً نظام جزيئات غاز في صندوق. فيمكن تصور الجزيئات ككرات بلياردو صغيرة تصطدم باستمرار ببعضها ببعض وتترد من جدران الصندوق. وكلما زادت حرارة الغاز، زادت سرعة تحرك الجزيئات، وبالتالي زاد تواتر وشدة اصطدامها بجدران الصندوق وزاد الضغط الذي تمارسه للخارج على الجدران. هب أن الجزيئات في أول الأمر كانت كلها محصورة في الجانب الأيسر من الصندوق بواسطة حاجز لو أزيل الحاجز

بعد ذلك، فإن الجزيئات تنزع إلى الانتشار للخارج وتشغل نصفى الصندوق، ويمكن لها فيما بعد أن تصبح كلها بالصدفة فى النصف الأيمن أو تعود ثانية إلى النصف الأيسر ولكن الاحتمال الأكبر الغالب أنه ستكون هناك أعداد متساوية على وجه التقريب فى النصفين : وهذه الحالة هى أقل انتظاما، أو أكثر اضطرابا عن الحالة الأصلية التى كانت الجزيئات فيها كلها فى نصف واحد. ويقول المرء إذن أن انتروپيا الغاز قد تزايدت. وبالمثل، لو فرضنا أن المرء يبدأ بصندوقين، أحدهما يحوى جزيئات أوكسجين والآخر يحوى جزيئات نيتروجين، فإذا ضم المرء الصندوقين معا وأزال الجدار الفاصل، فإن جزيئات الأوكسجين والنيتروجين تبدأ فى الامتزاج. وفى وقت لاحق ستكون الحالة الأكثر احتمالا هى وجود مزيج متنسق إلى حد ما من جزيئات الأوكسجين والنيتروجين خلال الصندوقين. وهذه الحالة ستكون أقل انتظاما، وبالتالي فإن فيها انتروپيا أكبر من الحالة الابتدائية للصندوقين المنفصلين.

والقانون الثانى للديناميكا الحرارية له وضع مختلف نوعا عن وضع قوانين العلم الأخرى، كقانون نيوتن للجاذبية مثلا، لأنه لا يصح دائما، وإنما يصح فحسب فى الأغلبية العظمى من الحالات. واحتمال أن توجد كل جزيئات الغاز فى صندوقنا الأول فى نصف الصندوق فى وقت لاحق هو احتمال واحد إلى ملايين الملايين الكثيرة، ولكنه قد يحدث. على أنه لو كان عند المرء ثقب أسود فيما حوله، فإن هناك فيما يبدو طريقة أسهل نوعا لانتهاك القانون الثانى : إرم فحسب أسفل الثقب الأسود بعض مادة بها الكثير من الانتروپيا، مثل صندوق غاز. وسوف تقل الانتروپيا الكلية للمادة فى خارج الثقب الأسود. ويمكن للمرء بالطبع أن يقول رغم ذلك إن الانتروپيا الكلية بما فى ذلك الانتروپيا داخل الثقب الأسود، لم تقل - ولكن حيث أنه ليس من وسيلة للنظر إلى داخل الثقب الأسود، فإننا لا نستطيع أن نرى قدر انتروپيا المادة التى فى داخله. وسيكون من الطيب إذن أن يكون هناك ملمع ما للثقب الأسود يستطيع به الملاحظون من خارجه معرفة ماله من انتروپيا، ويكون مما سيزيد قدره كلما سقطت المادة حاملة الانتروپيا داخل الثقب الأسود. وعقب الاكتشاف الموصوف أعلاه، من أن مساحة أفق الحدث تزيد كلما سقطت المادة فى الثقب الأسود، اقترح طالب بحث فى برينستون يدعى جاكوب بكنشتين أن مساحة أفق الحدث هى مقياس لانتروپيا الثقب الأسود. وعندما تسقط فى الثقب الأسود مادة حاملة للانتروپيا، فإن مساحة أفق الحدث فيه تزيد، بحيث أن حاصل جمع انتروپيا المادة فى خارج الثقب الأسود مع مساحة الأفاق لن يقل أبدا.

ويدا أن هذا الاقتراح يمنع انتهاك القانون الثانى للديناميكا الحرارية فى معظم المواقف. على أنه كان ثمة خطأ قاتل. فلو كان للثقب الأسود انتروپيا، فإنه يجب أيضا أن يكون له حرارة. ولكن الجسم الذى له حرارة معينة يجب أن يبعث إشعاعا بمعدل معين. ومن أمور الخبرة المشتركة

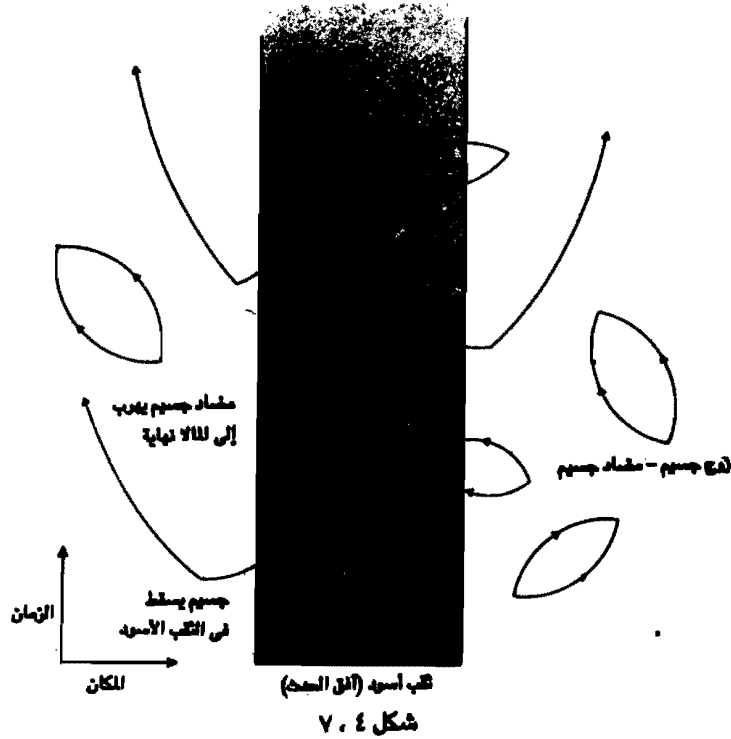
أنه إذا سخن المرء قضيب محراك النار في النيران فإنه يتوهج محمرا ويبعث إشعاعا، على أن الأجسام وهي عند درجات حرارة أدنى تبعث أيضا إشعاعا؛ والمرء لا يلاحظه عادة لأن قدره صغير نوعا. وهذا الإشعاع مطلوب لمنع انتهاك القانون الثاني. وهكذا فإن الثقوب السوداء ينبغي أن تبعث إشعاعا. ولكن الثقوب السوداء حسب تعريفها ذاتة هي أشياء يُفترض ألا تبعث شيئا. وهكذا بدا أن مساحة أفق الحدث للثقب الأسود لن يمكن النظر إليها على أنها ماله من انتروبيا. وفي ١٩٧٢ كتبت ورقة بحث مع براندون كارتير، وزميل أمريكي هو جيم باردين، بينا فيها أنه رغم أن ثمة مشابهاة كثيرة بين الانتروبيا ومساحة أفق الحدث، فإن هناك تلك الصعوبة الظاهرة القاتلة. ويجب أن أقر أنني أثناء كتابة هذه الورقة كنت مدفوعا جزئيا. بانفعالي من بكتشتين، الذي أحسست أنه قد استغل اكتشافا لزيادة مساحة أفق الحدث، على أنه قد ثبت في النهاية أنه هو الذي كان أساسا على حق، ولكن ذلك كان على نحو لم يكن هو يتوقعه بالتأكيد.

فبينما كنت أزرع موسكو في سبتمبر ١٩٧٣، ناقشت أمر الثقوب السوداء مع خيرين سوفيتيين مبرزين، هما ياكوف زلوفتش والكسندر ستاروينسكي. وأقنعاني بأنه حسب مبدأ عدم اليقين لميكانيكا الكم، فإن الثقوب السوداء الدوارة ينبغي أن تطلق وتبعث جسيمات، وأمنت بحجهم على أسس فيزيائية، ولكني لم أكن أميل للطريقة الرياضية التي حسبوا بها الإشعاع. وهكذا أخذت أعمل في ابتكار تناول رياضي أفضل، قمت بتوصيفه في ندوة غير رسمية في أكسفورد في نهاية نوفمبر ١٩٧٣. وفي هذا الوقت كنت لم أقم بالحسابات اللازمة لمعرفة ما سيتم إشعاعه فعلا. وكنت أتوقع أن اكتشف وحسب الإشعاع الذي تنبأ به زلوفتش وستاروينسكي من الثقوب السوداء الدوارة. على أنني عندما قمت بالحسابات، وجدت لدهشتي وانزعاجي، أنه حتى الثقوب السوداء الدوارة ينبغي فيما يظهر أن تخلق وتبعث جسيمات بسرعة ثالثة.. وفي أول الأمر اعتقدت أن هذا الإشعاع يدل على أن أحد التقريبات التي استخدمتها ليس صحيحا. وكنت أخشى أن لو عرف بكتشتين بهذا الأمر، فإنه سيستخدمه كحجة أخرى يدعم بها آرائه عن انتروبيا الثقوب السوداء، التي ما زلت لا أحبها. على أنني كلما فكرت في الأمر بدا أن هذه التقريبات ينبغي أن تكون صحيحة. إلا أن ما أقنعني في النهاية بأن الإشعاع حقيقي هو أن طيف الجسيمات المنبعثة كان بالضبط الطيف الذي سيبعثه جسم ساخن، وأن الثقب الأسود يبعث جسيمات هي بالضبط بالمعدل الصحيح لمنع انتهاك القانون الثاني. ومنذ ذلك الوقت تكررت هذه الحسابات في عدد من الأشكال المختلفة بواسطة أفراد آخرين. وكلها أثبتت أن الثقب الأسود ينبغي أن يبعث جسيمات وإشعاعا كما لو كان جسما ساخنا له حرارة تعتمد فحسب على كتلة الثقب الأسود: فكلما زادت الكتلة، قلت الحرارة.

كيف يمكن أن يبدو أن الثقب الأسود يبعث جسيمات ونحن نعرف أن شيئاً لا يمكن أن يهرب من خلال أفق حدثه؟ والإجابة، التي نخبرنا بها نظرية الكم، هي أن الجسيمات لا تأتي من داخل الثقب الأسود، ولكن من الفضاء «الخاوي» في الخارج مباشرة من أفق حدث الثقب الأسود! ويمكننا فهم ذلك بالطريقة التالية: إن ما نتصوره على أنه فضاء «خاوي» لا يمكن أن يكون خاوياً بالكامل لأن هذا سيعني أن كل المجالات، مثل مجالات الجاذبية والكهرومغناطية، يجب أن تكون صفراً بالضبط. على أن قيمة مجال ما وسرعة تغيره في الزمان هما مثل الموضع والسرعة لجسيم ما: وبدل مبدأ عدم اليقين على أنه كلما زادت دقة ما يعرفه المرء عن أحد هذه المقادير، قلت دقة ما يمكن أن يعرفه عن الآخر. وهكذا فإنه في الفضاء الخاوي لا يمكن للمجال أن يكون ثابتاً عند الصفر بالضبط، لأنه عندئذ سيكون له كلا من قيمة مضبوطة (صفر) ومعدل تغير مضبوط (صفر أيضاً). ويجب أن يكون ثمة قدر أدنى معين من عدم اليقين، أو تذبذب للكم، بالنسبة لقيمة المجال. ويمكن للمرء أن يتصور هذه التذبذبات كنزاج من جسيمات الضوء أو الجاذبية تظهر معا في وقت ما، وتتحرك منفصلة، ثم تلتقي معا ثانية ويفنى أحدها الآخر. وهذه الجسيمات جسيمات تقديرية مثل الجسيمات التي تحمل قوة جاذبية الشمس: وبخلاف الجسيمات الحقيقية، فإنها لا يمكن رصدها مباشرة بكشاف للجسيمات، إلا أن تأثيراتها غير المباشرة، مثل التغيرات الصغيرة التي تحدث في طاقة مدارات الإلكترونات في الذرة، يمكن قياسها وتتفق مع التنبؤات النظرية بدرجة ملحوظة من الدقة. وبدلاً من عدم اليقين يتنبأ أيضاً بأنه سيكون هناك أزواج تقديرية مشابهة من جسيمات المادة، مثل الإلكترونات أو الكواركات. على أنه في هذه الحالة فإن أحد الفردين في الزوج يكون جسيماً والآخر مضاداً للجسيم (مضادات جسيمات الضوء والجاذبية هي مماثلة للجسيمات).

ولما كان من غير الممكن استحداث الطاقة من لا شيء، فإن أحد الشريكين في زوج الجسيم/ مضاد الجسيم سيكون له طاقة موجبة، ويكون للشريك الآخر طاقة سالبة. والجسيم ذي الطاقة السالبة محكوم عليه أن يكون جسيماً تقديرياً. قصير العمر؛ لأن الجسيمات الحقيقية لها دائماً في الأوضاع الطبيعية طاقة موجبة. وإذا فإنه يجب أن يجد في طلب شريكه ويفنى معه. على أن الجسيم الحقيقي عندما يكون على مقربة من جسم ضخم الكتلة يكون له طاقة أقل مما لو كان بعيداً عنه، ذلك أن نقله بعيداً ضد شد جاذبية الجسم سيتطلب استهلاك طاقة. وفي الأحوال الطبيعية تظل طاقة الجسيم إيجابية، ولكن مجال الجاذبية من داخل الثقب الأسود يبلغ من القوة أنه حتى الجسيم الحقيقي يمكن أن تكون طاقته سالبة هناك. وإن كان ثمة ثقب أسود موجود فإن من الممكن للجسيم التقديري ذي الطاقة السالبة أن يسقط لداخل الثقب الأسود ويصبح جسيماً حقيقياً أو مضاد جسيم. وفي هذه الحالة لن يكون عليه أن يفنى مع شريكه. أما شريكه المنبؤ فإنه

قد يسقط أيضاً لداخل الثقب الأسود. أو أنه بما له من طاقة موجبة، قد يهرب أيضاً من جوار الثقب الأسود كجسيم حقيقي أو مضاد جسيم (شكل ٧. ٤). وبالنسبة للراصد له عن بعد، سيبدو له أنه قد انبعث من الثقب الأسود. وكلما صغر الثقب الأسود، قصرت المسافة التي يكون على الجسيم نى الطاقة السالبة أن يقطعها قبل أن يصبح جسيما حقيقيا، وهكذا تتزايد سرعة الإشعاع من الثقب الأسود هي وحرارته الظاهرية.

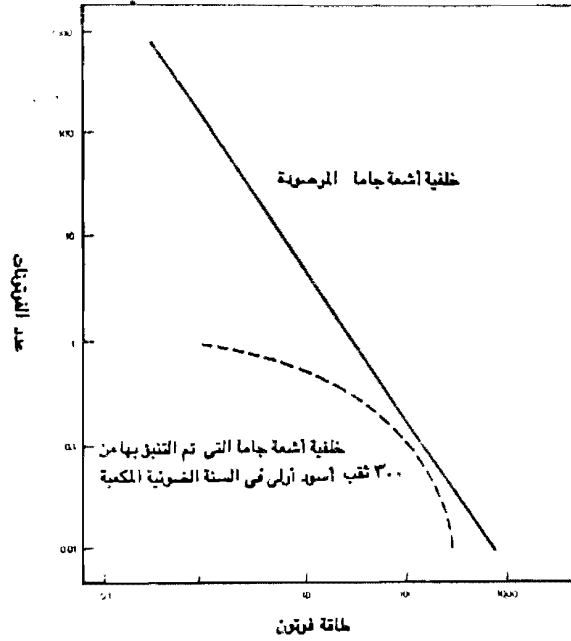


والطاقة الموجبة للإشعاع الخارج ستوازن بواسطة تدفق من جسيمات سالبة الطاقة لداخل الثقب الأسود. وحسب معادلة أينشتاين $E = mc^2$ (حيث E هي الطاقة، و m هي الكتلة و c هي سرعة الضوء)، فإن الطاقة تتناسب مع الكتلة. وإن فإن تحقق الطاقة السالبة لداخل الثقب الأسود سيقبل من كتلته. وإذا يفقد الثقب الأسود من كتلته، فإن مساحة أفق حدث تصبح أصغر، ولكن هذا الإنقاص من انتروپيا الثقب الأسود يتم تعويضه وأكثر بواسطة انتروپيا الإشعاع المنبعث، وهكذا فإن القانون الثانى لا ينتهك قط.

وفوق ذلك، فإنه كلما صغرت كتلة الثقب الأسود، زادت حرارته. وهكذا فإن الثقب الأسود إذ يفقد من كتلته، فإن حرارته تزيد هي ومعدل الإشعاع منه، وبهذا فإنه يفقد من كتلته بمعدل أسرع. وليس من الواضح تماما ماذا يحدث عندما تصبح كتلة الثقب الأسود في النهاية بالغة الصغر، على أن أكثر خمين معقول هو أنه سيختفى تماما في تفجر هائل نهائى مشع، يعادل انفجار ملايين القنابل الهيدروجينية.

والثقب الأسود الذى تكون كتلته ضعف كتلة الشمس لمرات معدودة ستكون حرارته أعلى من الصفر المطلق بقدر هو فقط جزء واحد من عشرة ملايين من الدرجة. وهذا أقل كثيرا من حرارة الإشعاع الميكروويفى الذى يملأ الكون (حوالى 2.7°) فوق الصفر المطلق، وهكذا فإن هذه الثقوب السوداء ستشع حتى بقل ما تمتص، ولو كان مصير الكون، أن يظل يعتمد طول الوقت، فإن حرارة الإشعاع الميكروويفى ستقل في النهاية إلى ما هو أدنى من حرارة ثقب أسود كهذا، والذى سيبدأ وقتها في أن يفقد من كتلته. ولكن حتى آنذاك، فإن حرارته سيبلغ من انخفاضها أن تبخره تبخرا كاملا سيتطلب ما يقرب من مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون فقط عشرة مليون سنة (١ يعقبه ستة وستون صفرا). وهذا أطول كثيرا من عمر الكون، الذى يبلغ فقط عشرة أو عشرين ألف مليون سنة (١ أو ٢ يعقبها عشرة أصفار). ومن الناحية الأخرى، فكما ذكر في الفصل السادس، قد يكون ثمة ثقوب سوداء بدائية كتلتها أصغر كثيرا وقد صنعت من تقلص مناطق الكون غير المنتظمة في مراحله المبكرة جدا. ومثل هذه الثقوب السوداء سيكون لها درجات حرارة أعلى كثيرا وستبعث الإشعاع بمعدل أكبر جدا. والثقب الأسود البدائى الذى تكون كتلته الابتدائية ألف مليون طن سيكون عمره مساويا بالتقريب لعمر الكون. والثقوب السوداء البدائية ذات الكتلة الابتدائية الأصغر من هذا الرقم ستكون بالفعل قد تبخرت بالكامل، أما تلك ذات الكتلة الأكبر قليلا فإنها ستظل تبعث الإشعاع في شكل أشعة إكس و أشعة جاما. وأشعة إكس وجاما هذه تشبه موجات الضوء، إلا أن طول موجتها أقصر كثيرا. ومثل هذه الثقوب لا تكاد تستحق لقب «السوداء»: فهي في الحقيقة «بيضاء ساخنة» وتبعث بالطلقة بمعدل يقرب من عشرة آلاف ميجاوات.

وثقب أسود واحد كهذا يمكن أن يشغل عشر محطات كهرباء كبيرة لو أمكننا فقط التحكم في قوته. على أن هذا أمر صعب نوعا : فالثقب الأسود ستكون له كتلة جبل مضاغطة فيما يقل عن جزء من مليون المليون من البوصة. أى حجم نواة نرة! ولو كان لديك أحد هذه الثقوب السوداء على سطح الأرض، فلن يكون ثمة طريقة لإيقافه عن أن يهوى من خلال أرضية البيت ليصل إلى مركز الأرض. وسوف يتذبذب خلال الأرض ليرتد ثانية، حتى يستقر في النهاية في القرار عند المركز وإن كان المكان الوحيد الذى يوضع فيه ثقب أسود كهذا، والذي يمكن فيه للمرء أن يستخدم الطاقة



شكل ٧، هـ

التي يبعثها، سيكون مدارا حول الأرض - والطريقة الوحيدة التي يمكن للمرء أن يصل بها إلى أن يجعله في مدار حول الأرض هي أن يجذبه هناك بأن يقطر أمامه كتلة كبيرة، بما يشبه الجزة التي توضع أمام الحمار. ولا يبدو هذا كاقترح جد عملي، وعلى الأقل ليس في المستقبل القريب.

ولكن حتى إذا لم نتمكن من التحكم في الإشعاع المنبعث من هذه الثقوب السوداء البدائية، فما هي فرصة رصدنا لها؟ يمكننا أن نبحث عن أشعة جاما التي تبعث بها الثقوب السوداء البدائية أثناء معظم زمان حياتها. ورغم أن الإشعاع من معظمها سيكون ضعيفا جدا لأنها بعيد جدا، إلا أن مجموع ما يصدر عنها كلها قد يكون مما يمكن الكشف عنه. ونحن نرصد بالفعل خلفية كهذه من أشعة جاما: وشكل ٧، هـ يبين كيف أن شدتها المرصودة تختلف عند الترددات المختلفة (عدد الموجات لكل ثانية). على أن هذه الخلفية كان يمكن أن تكون، ويحتمل أنها كانت، متولدة عن عمليات أخرى غير الثقوب السوداء البدائية. والخط المتقطع في شكل ٧، هـ يبين كيف أن شدة أشعة جاما ينبغي أن تختلف مع اختلاف تردد أشعة جاما المنبعثة من الثقوب السوداء البدائية. لو كان هناك في المتوسط ٢٠٠ ثقب لكل سنة ضوئية مكعبة. ويستطيع المرء إذن أن يقول إن مشاهدات خلفية أشعة جاما لا تمد بأي برهان «إيجابي» على الثقوب السوداء البدائية، ولكنها تخبرنا بالفعل أنه

فى المتوسط لا يمكن أن يكون هناك أكثر من ٢٠٠ ثقب فى سنة ضوئية مكعبة فى الكون. وهذا الحد يعنى أن الثقوب السوداء البدائية يمكن فى أقصى الحدود أن تتألف واحد فى المليون من المادة التى فى الكون.

ومع هذه الندرة للثقوب السوداء البدائية، فإنه قد يبدو من غير المحتمل أن سيكون أحدهما قريبا لنا بما يكفى لرصده كمصدر منفرد لأشعة جاما. ولكن حيث أن الجاذبية ستشد الثقوب السوداء البدائية إلى أى مادة، فإنها ينبغى أن تكون أكثر شيوعا فى المجرات ومن حولها. وهكذا فرغم أن خلفية أشعة جاما تتبيننا أنه لا يمكن أن يوجد فى المتوسط أكثر من ٢٠٠ ثقب أسود بدائى لكل سنة ضوئية مكعبة، إلا أنها لا تخبرنا بشئ عن مدى ما قد يكون من شيوعها فى مجرتنا نفسها. فلو كانت مثلا أكثر شيوعا عن ذلك بمليون مرة، فإن أقرب ثقب أسود لنا سيكون إن فى ما يحتمل على مسافة تقرب من ألف مليون كيلو متر، أو ما يقرب من بُعد بلوتونها. وهو أبعد الكواكب المعروفة. وعند هذه المسافة سيظل من الصعب جدا الكشف عن الإشعاع المطرد لأحد الثقوب السوداء، حتى لو كان من عشرة آلاف ميجاجوات. وحتى يمكن رصد ثقب أسود بدائى سيكون على المرء أن يكشف عن كمات متعددة لأشعة جاما تأتى من نفس الاتجاه خلال مدى معقول من الزمن. كاسبوع واحد مثلا. وإلا، فإنها قد تكون ببساطة جزءا من الخلفية. ولكن مبدأ كم بلانك يخبرنا أن كل كم لأشعة جاما له طاقة كبيرة جدا، لأن أشعة جاما لها تردد عالى جدا، وهكذا فإن الأمر لن يتطلب كمات كثيرة لإشعاع ما يبلغ حتى عشرة آلاف ميجاجوات. وحتى يمكن رصد تلك الطاقة التى تأتى من بعد مثل بعد بلوتو سيتطلب الأمر كشفا لأشعة جاما أكبر من أى من الكشافات التى بنيت حتى الآن. وفوق ذلك فإن الكشاف ينبغى أن يكون فى الفضاء، لأن أشعة جاما لا تستطيع اختراق الغلاف الجوى.

وبالطبع، لو أن ثقباً أسود على بُعد مثل بعد بلوتو وصل إلى نهاية عمره وانفجر، فسيكون من السهل الكشف عن الانفجر النهائى للإشعاع. ولكن لو أن الثقب الأسود ظل يشع طيلة آخر عشرة أو عشرين ألف مليون سنة، فإن فرصة وصوله إلى نهاية عمره خلال السنوات المعبودة القادمة بدلا من الملايين العديدة من السنوات فى الماضى أو المستقبل، لهى حقا فرصة صغيرة نوعا. وهكذا فإنه حتى تكون ثمة فرصة معقولة لرؤية أحد الانفجارات قبل أن تنفذ منحة بحثك، سيكون عليك أن تجد طريقة للكشف عن أى انفجارات خلال مدى ما يقرب من سنة ضوئية واحدة. وستظل لديك مشكلة الاحتياج إلى كشاف كبير لأشعة جاما لرصد العديد من كمات إشعاع جاما الآتية من الانفجار. على أنه فى هذه الحالة، لن يكون من الضرورى تحديد أن كل الكمات قد أتت من نفس الاتجاه: فسيكون كافيا رصد أنها كلها قد وصلت خلال فترة زمنية قصيرة جدا حتى

يكون المرء واثقا على نحو معقول من أنها تأتي من التفجر نفسه.

وكشاف أشعة جاما الذى يمكن أن تكون له القدرة على الكشف عن الثقوب السوداء البدياية هو غلاف الأرض الجوى بأسره. (وعلى أى حال فإن من غير المحتمل أننا نستطيع بناء كشاف أكبر!) وعندما يصطدم كم أشعة جاما ندى الطاقة العالية بالذرات التى فى غلافنا الجوى، فإنه يخلق أزواجا من الالكترونات والبوزيترونات (مضادات الالكترونات). وعندما تصطدم هذه بذرات أخرى فإنها بدورها تخلق أزواجا أكثر من الالكترونات والبوزيترونات، وهكذا يلقى المرء ما يسمى بوابل الكترونى electronic shower. والنتيجة هى نوع من الضوء يسمى إشعاع سيرنكوف، ويستطيع المرء إذن أن يكشف عن تفجرات أشعة جاما بالبحث عن ومضات ضوئية فى سماء الليل. وبالطبع فإن هناك عددا من الظواهر الأخرى، مثل البرق وانعكاسات ضوء الشمس عن الأقمار الصناعية الهابوية هى والبقايا التى تنور فى أفلاك، كلها يمكن أيضا أن تعطى ومضات فى السماء. ويمكن للمرء تمييز تفجرات أشعة جاما عن مثل هذه التأثيرات برصد الومضات فى نفس الوقت من موضعين أو أكثر يبتعد أحدها عن الآخر بعدا واسعا إلى حد ما. وقد أجرى بحث كهذا بواسطة عالمين من دبلن هما نيل مورتر وتريفور ويكس، واستخدما لذلك تلسكوبات فى أريزونا، وقد وجدا عددا من الومضات، ولكن أيا منها لم يكن مما يمكن إرجاعه على نحو مؤكد إلى تفجرات أشعة جاما من الثقوب السوداء البديائية.

وحتى لو ثبت أن البحث عن الثقوب السوداء البديائية هو سلبى، بمثلما قد يبدو أنه هكذا، فإنه مع ذلك سيعطينا معلومات هامة عن أطوار الكون المبكرة جدا. ولو كان الكون المبكر فى حالة فوضى أو عدم انتظام، أو كان ضغط المادة منخفضا، فإن المرء ليتوقع له أنه سيُنتج عددا من الثقوب السوداء البديائية أكثر كثيرا من الحد الذى حددته من قبل مشاهداتنا عن خلفية إشعة جاما. ولا يستطيع المرء أن يفسر عدم وجود أعداد قابلة للرصد من الثقوب السوداء البديائية إلا لو كان الكون المبكر مستويا ومتسقا ومالى الضغط.

وفكرة الإشعاع من الثقوب السوداء هى أول مثال لتنبؤ يعتمد بطريقة جوهرية على كلا النظريتين العظيمتين لهذا القرن، النسبية العامة وميكانيكا الكم. وقد أثارت فى أول الأمر معارضة جمة لأنها زعزعت وجهة النظر الموجودة: كيف يمكن لثقب أسود أن يشع أى شئ؟؛ وعندما أعلنت أول مرة نتائج حساباتى فى مؤتمر بمعمل رودرفورد - أبلتون بالقرب من أكسفورد، قوبلت بارتياح عام. وفى نهاية حديثى زعم رئيس الجلسة جون ج. تايلور بكلية الملك فى لندن، أنه كله حديث هراء. بل إنه كتب ورقة بحث بهذا المعنى. على أن معظم الناس فى النهاية، بما فيهم جون تايلور، وصلوا

إلى استنتاج أن الثقوب السوداء يجب أن تشع مثل الأجسام الساخنة إذا كانت أفكارنا عن النسبية العامة وميكانيكا الكم صحيحة. وهكذا، فرغم أننا لم تتمكن بعد من العثور على ثقب أسود بدائي، إلا أن ثمة اتفاقاً عاماً على أننا لو عثرنا عليه، فيجب أن يكون بحيث يشع الكثير من أشعة جاما وأشعة إكس.

ووجود إشعاع من الثقوب السوداء يبدو أنه يدل على أن التقلص بالجاذبية ليس نهائياً وليس غير قابل للعكس بمثل ما كنا نعتقد ذات مرة. ولو سقط عالم فلك في ثقب أسود، فإن كتلة الثقب الأسود ستزيد، على أنه في النهاية ستعود إلى الكون الطاقة المكافئة لهذه الكتلة الإضافية في شكل إشعاع. وهكذا فإن عالم الفلك، بمعنى ما، «ستكرر دورته». على أن هذا نوع بانس من الظل، لأن أى مفهوم شخصى عن الزمان بالنسبة لعالم الفلك سينتهى بما يكاد يكون مؤكداً عندما يتمزق بدداً داخل الثقب الأسود! وحتى أنواع الجسيمات التي يشعها الثقب الأسود في النهاية ستكون على نحو عام مختلفة عن تلك التي كانت تكون عالم الفلك: والملمح الوحيد الذي سيبقى من عالم الفلك سيكون كتلته أو طاقته.

والتقريبات التي استخدمتها لاستنتاج حدوث إشعاع من الثقوب السوداء ينبغي أن تكون مما يصلح للعمل عندما يكون للثقب الأسود كتلة أعظم من جزء من الجرام. على أنها ستتهار عند نهاية عمر الثقب الأسود عندما تصبح كتلته صغيرة جداً. ويبدو أن أكثر النتائج احتمالاً هو أن الثقب الأسود سيختفى فحسب، على الأقل من منطقتنا في الكون، أخذاً معه عالم الفلك رأى مفردة قد تكون من داخل الثقب، لو كان هناك حقاً وجود لإحداها. وقد كان هذا بمثابة الإشارة الأولى إلى أن ميكانيكا الكم قد تزيل المفردات التي كانت النسبية العامة قد تتبأت بها. على أن المناهج التي كنت استخدمها أنا والأفراد الآخرون في ١٩٧٤ لم تكن تستطيع الإجابة عن أسئلة من مثل ما إذا كانت المفردات هي مما سيحدث في جانبية الكم. وابتداءً من ١٩٧٥ فصاعداً بدأتُ إذن في تطوير تناول أقوى لجانبية الكم يتأسس على فكرة ريتشارد فاينمان عن حاصل جمع التواريخ Sum over histories. وما يقترحه هذا التناول من إجابات عن أصل ومصير الكون ومحتوياته، من مثل علماء الفلك، سيتم توصيفه في الفصلين التاليين. وسوف نرى أنه رغم ما يضعه مبدأ عدم اليقين من قيود على دقة تنبؤاتنا كلها، إلا أنه في الوقت نفسه قد يزيل ما يحدث من هجز أساسي عن التنبؤ بالنسبة لمفردة المكان - الزمان.



أصل ومصير الكون

نظرية أينشتاين من النسبية العامة، هي في ذاتها تتنبأ بأن المكان - الزمان يبدأ عند مفردة الانفجار الكبير وسوف يصل إلى نهايته عند مفردة الانسحاق الكبير (إذا تقلص الكون كله ثانية)، أو عند مفردة من داخل ثقب أسود (أو تقلصت منطقة محددة، مثل أحد النجوم). وأي مادة ستتهوى إلى داخل الثقب ستستمر عند المفردة، ولن يظل محسوسا في الخارج إلا تأثير جاذبية كتلتها. ومن الناحية الأخرى،، عندما يؤخذ في الحسبان تأثيرات الكم، فإنه يبدو أن كتلة أو طاقة المادة ستعود في النهاية إلى باقي الكون، وأن الثقب الأسود هو أي مفردة من داخله، سوف يتبخر بعيدا يختفي في النهاية. هل يكون لميكانيكا الكم تأثير درامي مسار لذلك على مفردتي الانفجار الكبير والانسحاق الكبير؟ ما الذي يحدث حقا أثناء الأطوار المبكرة جدا أو المتأخرة جدا من الكون، عندما تكون مجالات الجاذبية من القوة بحيث لا يمكن تجاهل تأثيرات الكم؟ هل للكون حقيقة بداية أو نهاية؟ وإذا كان الأمر كذلك، فكيف تبدوان؟

في إنشاء السبعينيات كلها كنت أدرس أساسا الثقوب السوداء ولكنني في ١٩٨١ تيقظ اهتمامي ثانية بأسئلة حول أصل ومصير الكون وذلك عندما حضرت مؤتمرا عن الكونيات نظمه الجيزويت في الفاتيكان. والكنيسة الكاثوليكية قد ارتكبت خطأ سيئا في حق جاليليو عندما حاولت أن تفرض كلمتها في مسألة علمية، مطنة أن الشمس تدور حول الأرض. والآن، بعد مرور قرون، قررت الكنيسة أن تدعو عددا من الخبراء لينصحنونها فيما يتعلق بعلم الكون. وفي نهاية المؤتمر شرف المساهمون بلقاء مع البابا. وكان موضوع حديثي في المؤتمر هو من إمكان أن يكون المكان -- الزمان متناهيًا ولكنه بلا حد، الأمر الذي يعنى أن ليس له بداية.

وحتى أفسر ما لدى أنا وأناس آخرين من أنكار عن كيف قد تؤثر ميكانيكا الكم في أصل ومصير الكون، فإن من الضروري أولا فهم تاريخ الكون المقبول بصفة عامة، حسب ما يُعرف

«بنموذج الانفجار الكبير الساخن». ويفترض هذا أن الكون يوصف نموذج من نماذج فريدمان بما يرتد مباشرة حتى الانفجار الكبير. وفي مثل هذه النماذج يجد المرء أنه إذ يتمدد الكون، فإن أى مادة فيه أو إشعاع يصبح أبرد. (عندما يتضاعف حجم الكون، تنخفض حرارته إلى النصف). ولما كانت الحرارة مجرد مقياس لمتوسط طاقة - أو سرعة - الجسيمات، فإن تبريد الكون هذا يكون له تأثير جوهري على مافيه من مادة. وعند درجات الحرارة العالية جدا، تتحرك الجسيمات فيما حولها بسرعة يبلغ من قدرها أن الجسيمات تستطيع أن تفر من أى تجانب فيما بينها يرجع إلى القوى النووية أو الكهرومغناطية، ولكنها إذ تبرد فإن المرء يتوقع أن هذه الجسيمات سيجذب أحدها الآخر لتبدأ فى التجمع ثانية. وفوق ذلك فإنه حتى نوع الجسيمات التى توجد فى الكون سيعتمد على درجة الحرارة. ففى درجات الحرارة العالية بما يكفى، يكون للجسيمات قدر كبير من الطاقة بحيث أنها كلما ارتطمت نتج عن ذلك أزواج كثيرة مختلفة من الجسيمات / مضادات الجسيمات - ورغم أن بعض هذه الجسيمات سيفنى إذ يصطدم بمضادات الجسيمات، إلا أنها سيتم إنتاجها بسرعة أكبر مما تستطيع أن تفنى به. على أنه فى درجات الحرارة الأكثر انخفاضا، إذ تكون الجسيمات المتصادمة ذات طاقة أقل، فإن سرعة إنتاج أزواج الجسيمات / مضادات الجسيمات سوف تقل - وتصبح السرعة التى تفنى بها أكبر من سرعة إنتاجها.

وفيما يُعتقد، فإن الكون وقت الانفجار الكبير نفسه يكون حجمه صفرا، وبهذا فإنه يكون ساخنا على نحو لا متناه. ولكن الكون إذ يتمدد، فإن حرارة الإشعاع تقل. وبعد الانفجار الكبير بثانية واحدة، تكون الحرارة قد هبطت لما يقرب من عشرة آلاف مليون درجة. وهذا يبلغ ما يقرب من ألف ضعف لدرجة الحرارة فى مركز الشمس، ولكن درجات الحرارة العالية هكذا يتم الوصول إليها فى انفجارات القنبلة الهيدروجينية. ويكون ما يحتوى الكون عليه فى هذا الوقت هو فى الغالب فوتونات، والإلكترونات، ونيوترينات neutrinos (جسيمات خفيفة جدا لا تتأثر إلا بالقوى الضعيفة والجاذبية). ومضادات جسيماتها، مع بعض البروتونات والنيوترونات. وإذ يستمر الكون فى التمدد والحرارة فى الانخفاض، فإن السرعة التى يتم بها إنتاج أزواج الإلكترون / مضاد الإلكترون بالاصطدامات ستتناقص إلى أقل من معدل تدميرها بالإفناء. وهكذا فإن معظم الإلكترونات ومضادات الإلكترونات سيفنى أحدها بالآخر لنتج المزيد من الفوتونات، ولا تترك إلا عددا قليلا من الإلكترونات الباقية. على أن النيوترينات ومضاداتها لا يفنى أحدها بالآخر، لأن هذه الجسيمات لا تتفاعل مع نفسها ومع الجسيمات الأخرى إلا على نحو ضعيف جدا. وهكذا فإنها ينبغي أن تظل موجودة اليوم فيما حولنا. ولو أمكننا رصدها، فإنها ستمدنا باختبار جيد لهذه الصورة عن مرحلة الكون المبكرة الساخنة جدا. وأسوء الحظ، فإن طاقاتها فى الوقت الحاضر ستكون أكثر انخفاضا

من أن تتمكن من رصدها مباشرة. على أنه إذا كانت النيوتريونات ليست بلا كتلة، وإنما لها ما يخصها من كتلة صغيرة، كما يستدل على ذلك من تجربة روسية غير مؤكدة أجريت في ١٩٨١، فإننا قد يمكننا الكشف عنها بطريقة غير مباشرة: ومن الممكن أنها شكل من «المادة المظلمة» مثل تلك التي سبق ذكرها، ولها قوة شد بالجاذبية تكفي لوقف تمدد الكون وتسبب تخلصه ثانية.

وبعد الانفجار الكبير بما يقرب من مائة ثانية، تكون الحرارة قد انخفضت إلى ألف مليون درجة، وهي درجة الحرارة من داخل أسخن النجوم. وعند هذه الحرارة فإن البروتونات والنيوترونات لا يصبح لديها بعد الطاقة الكافية للهرب من جاذبية القوة النووية القوية، وتبدأ في الاتحاد معاً لإنتاج نويات ذرات الديوتريوم (الهيدروجين الثقيل)، التي تحوى بروتونا واحداً، ونيوتروناً واحداً، ونويات الديوتريوم تتحد بعدها بالمزيد من البروتونات والنيوترونات لتصنع نويات الهيليوم، التي تحوى بروتونان ونيوترونان، وتصنع أيضاً كميات صغيرة من عنصرين أثقل هما الليثيوم والبريليوم... ويمكن للمرء أن يحسب أنه في نموذج الانفجار الكبير الساخن، سيتحول ما يقرب من ربع البروتونات والنيوترونات إلى نويات هيليوم، وذلك مع قدر صغير من الهيدروجين الثقيل والعناصر الأخرى. وتتحلل النيوترونات الباقية إلى بروتونات، هي نويات ذرات الهيدروجين العادية.

هذه الصورة من طور مبكر ساخن للكون طرحها لأول مرة العالم جيرج جاموف في ورقة بحث شهيرة كتبها ١٩٤٨ مع أحد طلبته وهو ألف ألف. ولما كان لجاموف حس فكاهي إلى حد بعيد - فقد حث العالم النوى هانز بيث أن يضيف اسمه إلى الورقة لتصبح قائمة مؤلفيها «ألف، وبيث، وجاموف» مشابهة للحروف الثلاثة الأولى للأبجدية الإغريقية، ألفا، بيتا، وجاما: مما يلائم على وجه الخصوص ورقة بحث من بدأ الكون! وقد وصلوا في ورقة البحث هذه إلى تنبؤ رائع بأن الإشعاع (في شكل فوتونات) من أطوار الكون المبكرة الساخنة جداً ينبغي أن يكون بالياً اليوم فيما حولنا، إلا أن حرارته قد هبطت إلى درجات معنودة فحسب فوق الصفر المطلق (- ٢٧٣° م). وكان هذا الإشعاع هو ما وجدته بنزياس وويلسون في ١٩٦٥. وعندما كتب ألف وبيث وجاموف ورقة بحثهم، لم يكن يعرف الكثير عن التفاعلات النووية للبروتونات والنيوترونات. وهكذا فإن التنبؤات التي صنعت من نسب العناصر المختلفة في الكون المبكر كانت غير دقيقة نوعاً، إلا أن هذه الحسابات أهدت في ضوء معرفة أفضل وهي الآن تتلق على نحو جيد جداً مع مشاهداتنا. وبالإضافة، فإن من الصعب جداً أن يُفسَّر بأي طريقة أخرى السبب في أن الهيليوم ينبغي أن يوجد بكثرة هكذا في الكون. وإننا فإننا واثقون تماماً من أن لدينا الصورة الصحيحة، على الأقل بما يرجع وراء ما يقرب من الثانية بعد الانفجار الكبير.

وفى خلال ساعات معدودة فحسب من الانفجار الكبير، يكون إنتاج الهليوم والعناصر الأخرى قد توقف. وبعد ذلك، فإن الكون طيلة المليون سنة التالية أو ما يقرب من ذلك، يواصل وحسب تمدده، نون أن يحدث الشئ الكثير. وفى النهاية، فإنه ما إن تنخفض درجة الحرارة إلى آلاف معدودة من الدرجات، ولا يصبح بعد لدى الإلكترونات والنويات الطاقة الكافية للتغلب على ما يكون بينها من جنب كهرومغناطى، فإنها تبدأ فى الاتحاد لتكوين الذرات. ويستمر الكون ككل فى أن يعتمد ويبرد، على أنه فى المناطق التى تكون أكثر كثافة قليلا عن المتوسط، فإن سرعة التمدد تصبح أبطأ بواسطة الشد الإضافى للجاذبية. ويؤدى هذا فى النهاية إلى توقف التمدد فى بعض المناطق ويجعلها تبدأ فى التقلص ثانية. وأثناء تقلصها، فإن شد جاذبية المادة التى من خارج هذه المناطق قد يجعلها تبدأ فى الدوران هونا. وإذ تصبح المنطقة المتقلصة أصغر، فإنها تلف بأسرع - تماما مثل المتزلحين الذين يلفون على الجليد إذ تزيد سرعة لفهم عندما يضمون أذرعهم للداخل. وفى النهاية، عندما تصبح المنطقة صغيرة بما يكفى، يصبح دورانها سريعا بما يكفى للتوازن مع شد الجاذبية، وبهذه الطريقة تتم ولادة المجرات الدوارة التى تشبه القرص. أما المناطق الأخرى التى لا يتفق أنها تكتسب الدوران، فإنها تصبح أشياء بيضاوية الشكل تسمى المجرات الاهليلجية الناقص. وفى هذه المجرات تتوقف المنطقة عن التقلص لأن الأجزاء المفردة من المجرة تلف بثبات حول مركزها، ولكن المجرة ككل ليس لها دوران.

وإذا مضى الوقت، ينقسم غاز الهيدروجين والهليوم فى المجرات إلى سحب أصغر تتقلص بتأثير جاذبيتها هى نفسها. وإذ تنكمش هذه، وتصطدم الذرات من داخلها إحداها بالأخرى، تزيد حرارة الغاز حتى يصبح فى النهاية ساخنا بما يكفى لبدء تفاعلات نووية اندماجية. وهذه التفاعلات تحول الهيدروجين إلى المزيد من الهليوم، فتتبعث الحرارة لتزيد من الضغط، وهكذا فإنه يوقف انكماش السحب لأبعد من ذلك. وتظل السحب مستقرة على هذا الحال زمنا طويلا كتجوم من مثل شمسنا، وهى تحرق الهيدروجين إلى هليوم وتشتع الطاقة الكامنة كحرارة وضوء. والنجوم ذات الكتلة الأكبر تحتاج إلى أن تكون أسخن حتى توازن شد جاذبيتها الأقوى، الأمر الذى يجعل تفاعلات الاندماج النوى تجرى بسرعة أكبر بكثير بحيث تستهلك هذه النجوم ما بها من هيدروجين فى زمن قليل بما يماثل مائة مليون سنة. وبعدها فإنها تنكمش قليلا، وإذ تسخن أكثر، فإنها تبدأ فى تحويل الهليوم إلى عناصر أثقل مثل الكربون أو الأوكسجين. على أن هذا لا ينتج عنه انطلاق طاقة أكبر كثيرا، وهكذا تحدث أزمة، كما تم توصيفها فى فصل الثقب السوداء. وما يحدث بعد ذلك ليس واضحا تماما، ولكن يبدو من المحتمل أن المناطق المركزية فى النجم تتقلص إلى حالة كثيفة جدا، مثل نجم النيوترون أو الثقب الأسود. والمناطق الخارجية من النجم قد تُفجر أحيانا

فى انفجار هائل يسمى سوبرنوفاً Super Nova ، فىكون أكثر تألقا من كل النجوم الأخرى فى مجرته. وبعض العناصر الأثقل التى يتم إنتاجها قرب نهاية عمر النجم يقذف بها ثانية إلى الغاز فى المجرة، وتمد ببعض المادة الخام للجيل التالى من النجوم. وشمسنا نحن تحوى ما يقرب من ٢ فى المائة من هذه العناصر الأثقل، لأنها نجم من جيل ثانٍ أو ثالث، تكون منذ ما يقرب من خمسة آلاف مليون سنة من محابة من غاز دوار تحوى بقايا السوبرنوفات الأقدم. ومعظم الغاز فى هذه السحابة راح ليكون الشمس، أو هو قد نُفخ بعيدا، إلا أن كمية صغيرة من العناصر الأثقل تتجمع معا لتشكّل الأجسام التى تدور الآن حول الشمس ككواكب من مثل الأرض.

والأرض كانت أصلا ساخنة جدا وىلا أى غلاف جوى. وبمرور الوقت بردت واكتسبت غلانا جوىا من انبعاث الغازات من الصخور. وهذا الغلاف الجوى المبكر لم يكن مما يمكننا البقاء أحياء فيه. فهو لا يحتوى على أوكسجين، وإنما يحوى الكثير من الغازات الأخرى السامة لنا، مثل كبريتيد الهيدروجين (الغاز الذى يعطى للبيض العفن رائحته). على أن ثمة أشكالا أخرى من الحياة البدائية يمكن أن تزدهر فى ظروف كهذه. ومن المعتقد أنها قد نشأت فى المحيطات، ربما كنتيجة لاتحاد الذرات صدف فى بنىات أكبر، تسمى الجزئيات الكبرى، لها القدرة على تجميع الذرات الأخرى فى المحيط فى بنىات مماثلة. وبهذا فإنها تكون قد نسخت نفسها وتكاثرت. وتحدث فى بعض الحالات أخطاء فى التناسخ. وهذه الأخطاء هى فى معظمها بحيث لا يستطيع الجزء الكبير الجديد أن ينسخ نفسه وفى النهاية فإنه يتمدمر. إلا أن القليل من هذه الأخطاء ينتج عنه جزئيات كبرى جديدة هى حتى أفضل فى نسخ ذاتها. وبهذا فإنها يكون لها أفضلية وتنتزع إلى أن تحل محل الجزئيات الكبرى الأصلية. وبهذه الطريقة تبدأ عملية تطور تؤدى إلى نشأة كائنات ناسخة لذاتها هى أكثر وأكثر تعقدا. وتستهلك الأشكال البدائية الأولى للحياة مواد شتى بما فى ذلك كبريتيد الهيدروجين، وتطلق الأوكسجين. ويغير هذا تدريجيا من الغلاف الجوى ليصل إلى التركيب الذى هو عليه اليوم، فيسمع بنشأة الأشكال الأعلى من الحياة مثل السمك، والزواحف، والثدييات، وفى النهاية الجنس البشرى.

وهذه الصورة للكون الذى يبدأ ساخنا جدا ثم يبرد وهو يتمدد تتفق مع كل دليل المشاهدات الذى لدينا فى وقتنا هذا. ومع كل فإنها تخلف عددا من الأسئلة المهمة بلا جواب.

(١) لماذا كان الكون المبكر ساخنا للغاية ؟

(٢) لماذا يكون الكون متسقا للغاية على المقياس الكبير ؟ لماذا يبدو متماثلا من كل نقط

المكان وفي كل الاتجاهات؟ ولماذا بالذات، تكون حرارة إشعاع الخلفية الميكروويفية متعاطلة تقريبا عندما ننظر من الاتجاهات المختلفة؟ والأمر يبدو نوعا وكأنه توجيه أسئلة امتحان لعدد من الطلبة. فلو أنهم جميعا أعطوا الإجابة نفسها بالضبط، فإنه يمكنك أن تتأكد إلى حد كبير من أنهم قد اتصل أحدهم بالآخر. على أنه في المثال الذي وُصف أعلاه، لن يكون ثمة وقت كاف منذ الانفجار الكبير لأن يصل الضوء من منطقة بعيدة إلى أخرى، حتى ولو كانت المناطق في الكون المبكر قريبة معا. وحسب نظرية النسبية، فإنه إذا كان الضوء لا يستطيع الوصول من منطقة لأخرى، فما من معلومة أخرى ستتمكن من ذلك. وهكذا لن تكون ثمة طريقة يمكن بها للمناطق المختلفة من الكون المبكر أن تصل إلى أن يكون لاحداها نفس حرارة الأخرى إلا إذا اتفق لسبب غير مفهوم أنها بدأت أولا بنفس الحرارة.

(٢) لماذا بدأ الكون وله تقريبا نفس معدل التمدد العرج الذي يفصل الأنماط التي تنقلص ثانية من تلك التي توأصل التمدد للأبد، بحيث أنه حتى في وقتنا هذا، بعد مضي عشرة آلاف مليون سنة، ما زال يتمدد بمعدل التمدد العرج تقريبا؟ ولو كان معدل التمدد بعد ثانية واحدة من الانفجار الكبير أصغر حتى بجزء واحد من مائة ألف مليون مليون، لكان الكون قد تقلص ثانية قبل أن يصل قط إلى حجمه الحالي.

(٤) ورغم أن الكون بالمقياس الكبير جد متسق ومتجانس، إلا أنه يحوى لوجه عدم انتظام على النطاق المحلي. مثل النجوم والمجرات. ومن المعتقد أن هذه قد نشأت عن اختلافات صغيرة في كثافة الكون المبكر من منطقة لأخرى. ما أصل هذه التذبذبات في الكثافة؟



ونظرية النسبية العامة، بذاتها، لا تستطيع تفسير هذه المعالم، أو أن تجيب عن هذه الأسئلة وذلك لأنها تتنبأ بأن الكون بدأ بكثافة لا متناهية عند مفردة الانفجار الكبير. والمفردة تنهار عندها النسبية العامة وكل القوانين الفيزيائية الأخرى: فلا يستطيع المرء أن يتنبأ بما سينتج عن المفردة. وكما سبق شرحه، فلن هذا يعني أن المرء يستطيع أيضا أن يحذف الانفجار الكبير، وأي أحداث من قبله، خارج النظرية، لأنها لا تستطيع أن يكون لها تأثير على ما نشاهده. و«سيكون» للمكان - الزمان حد - أي بداية عند الانفجار الكبير.

ويبدو أن العلم قد أزاح الغطاء عن مجموعة من القوانين تخبرنا، في نطاق الحدود التي يضعها مبدأ عدم اليقين، عن الطريقة التي سيتطور بها الكون بعضى الزمن، لو عرفنا حالته في أي وقت بعينه. ولكن كيف كانت الحالة الابتدائية أو الشكل الابتدائي للكون؟ ماذا كانت الشروط الحدية boundary conditions عند بداية الزمان؟

إن إحدى الإجابات الممكنة عن ذلك أننا لا يمكننا فهم الشكل الابتدائي للكون، ولكن تطور الكون هو ما يجرى حسب قوانين يمكننا فهمها. على أن تاريخ العلم كله هو التحقق تدريجيا من أن الأحداث لا تحدث اعتباطيا، وإنما هي تعكس نظاما معيناً في الأساس منها. وسيكون من الطبيعي وحسب أن نفترض أن هذا النظام ينطبق لا على القوانين فقط وإنما أيضا على شروط حد المكان - الزمان التي تعين الحالة الابتدائية للكون. وقد يكون ثمة عدد كبير من نماذج للكون لها ظروف ابتدائية مختلفة كلها تخضع للقوانين. وينبغي أن يكون ثمة مبدأ ينتخب حالة ابتدائية واحدة، وبالتالي نمونجا واحدا، ليمثل كوننا.

وأحد هذه الاحتمالات هو ما يسمى الشروط الحدية الشواشية. وتفترض هذه ضمناً أن الكون إما أنه لا متناه مكانياً أو أن هناك أكوانا كثيرة بما لا نهاية له. وحسب الشروط الحدية الشواشية فإن احتمال العثور على أى منطقة بالذات فى المكان فى أى شكل بعينه بعد الانفجار الكبير مباشرة لهو احتمال يماثل، بمعنى ما، احتمال العثور عليه فى أى شكل آخر : فالحالة الابتدائية للكون يتم اختيارها على نحو عشوائى محض. ويعنى هذا أن الكون المبكر قد يكون فيما يحتمل فى حالة شديدة من الشواش وعدم الانتظام لأن الأشكال الشواشية غير المنتظمة للكون هي أكثر كثيراً مما يكون له من أشكال مستوية منتظمة. (وإذا كان لكل شكل احتمال متساو، فإن من المحتمل أن الكون قد بدأ فى حالة من الشواش وعدم الانتظام، وذلك ببساطة لأن عدد هذه الأشكال أكثر كثيراً). ومن الصعب أن يرى المرء كيف أن مثل هذه الظروف الابتدائية الشواشية يمكن أن ينشأ عنها كون مستو منتظم بالمقياس الكبير بمثل ما هو عليه كوننا فى الوقت الحالى. وسيوقع المرء أيضا أن تذبذبات الكثافة فى نموذج كهذا ستؤدي إلى تكوين تقوُب سوداء بدائية أكثر بكثير من الحد الأقصى الذى تفرضه مشاهدات خلفية أشعة جاما.

ولو كان الكون حقاً لا متناهياً فى المكان، أو لو كان ثمة أكوانا كثيرة بما لا نهاية له، فسيكون هناك فيما يحتمل بعض مناطق كبيرة فى مكان ما قد بدأت بأسلوب مستو متسق. والامر يشبه نوعاً حشد القروء المشهور الذى يدق على آلات كاتبة - فسوف يكون معظم ما يكتبونه هراء، ولكنهم فى أحوال نادرة جداً وبالصدف المحضة سيكتبون إحدى سو نابات شكسبير. فهل يمكن أننا بالمثل، فى حالة الكون، نعيش فى منطقة يتفق بالصدفة وحسب أنها مستوية ومتسقة؟ والوهلة الأولى قد يبدو هذا من بالغ غير المحتمل، لأن مثل هذه المنطق المستوية سيفوقها فى العدد تفوقاً هائلاً المناطق الشواشية غير المنتظمة. وعلى أى، هب أنه قد تم فى المناطق المستوية وحدها تكوين المجرات والنجوم وأن الظروف فيها وحدها كانت ملائمة لنشأة الكائنات المعقدة الناسخة لذاتها مثلاً نحن أنفسنا والتي لها القدرة على توجيه سؤال: لماذا يكون الكون جد مستو هكذا؟ إن هذا مثل

لتطبيق ما يعرفه بالمبدأ الإنساني Anthropic principle ، الذى يمكن إعادة صياغته كالتالى «إننا نرى الكون بما هو عليه لأننا موجودون».

رشة نوعان من المبدأ الإنساني هما الضعيف والقوى. والمبدأ الإنساني الضعيف يقرر أنه فى كون كبير أو لامتناهٍ فى المكان و/أو الزمان فإن الشروط الضرورية لنشأة حياة ذكية لا يتم الوفاء بها إلا فى مناطق معينة تكون محدودة المكان والزمان. والكائنات الذكية فى هذه المناطق ينبغي إذن ألا تتأجأ أو لاحظت أن موضعها فى الكون يفى بالشروط الضرورية لوجودها. والأمر يشبه نوعا رجلا غنيا يعيش فى جيرة ثرية فلا يرى أى فقر.

وأحد أمثلة استخدام المبدأ الإنساني الضعيف هو «تفسير» السبب فى أن الانفجار الكبير قد وقع منذ ما يقرب من عشرة آلاف مليون سنة - فالأمر يستغرق ما يقارب ذلك زمنا لتطوير كائنات ذكية. وكما شُرح بأعلاء فإنه يجب أن يتكون أولا جيل مبكر من النجوم. وتحول هذه النجوم بعض الهيدروجين والهيليوم الأصليين إلى عناصر مثل الكربون والأكسجين، التى نصنع نحن منها. ثم تنفجر النجوم إلى سوبر نوفا، وتفضى بقاياها لتكوّن نجوما وكواكب أخرى. من بينها تلك التى بمجموعتنا الشمسية، التى يبلغ عمرها ما يقرب من خمسة آلاف مليون سنة. وأول ألف أو ألفى مليون سنة من وجود أرضنا كانت أسخن من أن تسمح بنشأة أى شئ معقد. وقد استغرق ما بقى من الثلاثة آلاف مليون سنة أو ما يقرب من ذلك فى عملية التطور البيولوجى البطيئة، التى بدأت بأبسط الكائنات لتقود إلى كائنات لها القدرة على قياس الزمن وراء إلى الانفجار الكبير.

والمبدأ الإنساني الضعيف لن يناع فى صحته أو نفعه إلا قلة من الأفراد. على أن هناك من يذهبون إلى مدى أبعد كثيرا فيطرحون نوعا قويا لهذا المبدأ. وحسب هذه النظرية، فإنه إما أن هناك أكوانا كثيرة مختلفة أو أن هناك مناطق كثيرة مختلفة فى كون واحد، كل منها له شكله الابتدائى الخاص به، وربما يكون له مجموعة قوانينه العلمية الخاصة به.. وفى معظم هذه الأكوان ستكون الظروف غير ملائمة لنشأة كائنات معقدة؛ وإن ينشأ، إلا فى أكان قليلة مثل كوننا، كائنات ذكية توجه السؤال: لماذا يكون الكون بالطريقة التى نراه عليها؟ وستكون الإجابة وقتها بسيطة: لو كان الكون مختلفا لما كنا هنا!

وقوانين العلم كما نعرفها حاليا، تحوى أرقاما كثيرة أساسية، مثل حجم الشحنة الكهربائية للإلكترون ونسبة كتلتى البروتون والإلكترون. ونحن لا نستطيع، على الأقل فى لحظتنا هذه، أن نتنبأ بقيمة هذه الأرقام من النظرية - وإنما يجب أن نجدها بالملاحظة. ولطنا سنكتشف ذات يوم نظرية كاملة موحدة تتنبأ بها كلها، ولكن من المحتمل أيضا أنها كلها أو بعضها تختلف من كون إلى كون أو داخل الكون الواحد. والحقيقة البارزة، هى أنه يبدو أن قيم هذه الأرقام قد ضبطت ضبطا دقيقا

جدا لتجعل نشأة الحياة ممكنة. وكمثل قلو أن الشحنة الكهربائية للإلكترون كانت تختلف فقط اختلافا هينا، لما أمكن للنجوم أن تحرق الهيدروجين والهيليوم، أو أنها ما كانت بالتالى ستنفجر. وبالطبع، فقد يكون ثمة أشكال أخرى من الحياة الذكية، لا يحلم بها حتى كتاب الروايات العلمية، ولا تتطلب نور نجم كالشمس أو العناصر الكيماوية الأثقل التى تُصنع فى النجوم ويُقذف بها ثانية فى الفضاء عندما تنفجر النجوم ورغم هذا، إلا أنه يبدو واضحا أن هناك نسبيا عددا قليلا من مدى قيم الأرقام التى تسمح بنشأة أى شكل للحياة الذكية. ومعظم مجموعات القيم تؤدي إلى نشأة أكوان هـى، وإن كان يمكن أن تكون جميلة جدا، إلا أنها لن تحوى أحدا قادرا على الإعجاب بهذا الجمال. والمرأ أن يتخذ من ذلك دعما للمبدأ الإنسانى القوى.

وثمة عدد من الاعتراضات التى يمكن أن تُقام ضد المبدأ الإنسانى القوى بصفته تفسيرا لحالة الكون المشاهدة. فلو لا، بأى معنى يمكن القول بوجود كل هذه الأكوان المختلفة؟ لو أنها حقا منفصلة أحدها عن الآخر، فإن ما يحدث فى كون آخر لا يمكن أن تكون له نتائج قابلة للمشاهدة فى كوننا نحن. وينبغى إذن استخدام مبدأ الاقتصاد فنحذفها من النظرية. ومن الناحية الأخرى، قلو أنها كانت وحسب مناطق مختلفة من كون واحد، فإن قوانين العلم يلزم أن تكون متماثلة فى كل منطقة، وإلا لما استطاع المرء أن يتحرك حركة متصلة من منطقة لأخرى. وفى هذه الحالة فإن الفارق الوحيد بين المناطق سيكون فى شكلها الابتدائى، وهكذا فإن المبدأ الإنسانى القوى سيختزل إلى المبدأ الضعيف.

والاعتراض الثانى على المبدأ الإنسانى القوى هو أنه يجرى فى اتجاه مضاد لاتجاه المد فى كل تاريخ العلم. لقد نمونا من كونيّات بطليموس وسابقه ذات المركز الأرضى، ثم من خلال الكونيّات ذات المركز الشمسى عند كوبرنيكوس وجاليليو، حتى الصورة الحديثة حيث الأرض كوكب ذو حجم وسيط يدور حول نجم متوسط فى الضواحي الخارجية لمجرة لولبية عادية، هى نفسها مجرد مجرة واحدة من عدد من المجرات يقارب مليون مليون فيما يمكن رصده من الكون. إلا أن المبدأ

الإنسانى القوى يزعم ببساطة أن هذا البناء الهائل كله إنما يوجد من أجلنا. ومن الصعب جدا الإيمان بذلك. ومن المؤكد أن نظامنا الشمسى هو شرط مسبق لوجودنا، ويمكن للمرء أن يوسع هذا الشرط إلى كل مجرتنا لإتاحة جيل نجوم أكثر تبكيرا يخلق العناصر الثقيلة. ولكن يبدو أنه ما من حاجة لأن تكون كل تلك المجرات الأخرى، لا هى ولا الكون، جد متسقة ومتماثلة هكذا فى كل اتجاه على المقياس الكبير.

وسوف يزيد ما يشعر المرء به من سعادة بشأن المبدأ الإنسانى، على الأثقل فى نومه الضعيف، لو أمكن للمرء أن يبين أن عددا له قدره من أشكال الكون الابتدائية المختلفة كان يمكن أن

يتطور لإنتاج كون مثل الكون الذى نشهده. ولو كان هذا هو الحال، فإن كوننا ينشأ من ظروف ما ابتدائية عشوائية لينبغى أن يعوى عددا من المناطق التى تكون مستوية ومتسقة وملامنة لتطوير حياة نكية. ومن الناحية الأخرى فلو كانت الحالة الابتدائية للكون مما يلزم أن يتم اختياره فى حرص بالغ لتؤدى إلى شئ ما يشبه ما نراه حولنا، فسيكون من غير المحتمل أن يعوى الكون «أى» منطقة ستظهر فيها الحياة. وفى نموذج الانفجار الكبير الساخن الذى وصف بأعلاه، لم يكن ثمة وقت كافى للكون المبكر لتسرى الحرارة من منطقة لأخرى. ويعنى هذا أن الحالة الابتدائية للكون يلزم أن يكون فيها بالضبط نفس الحرارة فى كل مكان حتى يمكن تفسير حقيقة أن الخلفية الميكرويفية لها نفس الحرارة فى كل اتجاه ننظر إليه. كما أن السرعة الابتدائية للتمدد يجب أن يتم اختيارها اختيارا مضبوطة جدا حتى تظل سرعة التمدد قريبة جدا من المعدل العرج اللازم لتجنب التقلص ثانية. ويعنى هذا أن الحالة الابتدائية للكون يجب أن تكون قد تم اختيارها بحرص بالغ حقا لو كان نموذج الانفجار الكبير الساخن صحيحا رجوعا إلى بدأ الزمان مباشرة - وسيكون من الصعوبة البالغة تفسير السبب فى أنه ينبغى أن يبدأ الكون بهذه الطريقة بالضبط إلا بقصد.

وفى محاولة للمعثر على نموذج للكون حيث يمكن لأشكال ابتدائية مختلفة أن تتطور إلى شئ ما يشبه الكون الحالى، اقترح آلان جوث، أحد علماء معهد التكنولوجيا بما سانشوستس، أن الكون المبكر ربما قد مر بفترة من تمدد سريع جدا، ويقال عن هذا التمدد أنه «انفاسى»، بمعنى أن الكون كان فى وقت ما يتمدد بسرعة متزايدة بدلا من السرعة المتناقصة التى يتمدد بها فى وقتنا الحالى. وحسب جوث، فإن نصف قطر الكون زاد بمليون مليون مليون مليون مليون ضعف (١ يعقبه ثلاثون صفرا) فيما لا يزيد عن جزء دقيق من الثانية.

ويقترح جوث أن الكون بدأ من الانفجار الكبير وهو فى حالة ساخنة جدا وإن كانت حالة نوعا. ودرجات الحرارة العالية هذه تعنى أن الجسيمات التى فى الكون ستتحرك سريعا جدا وسيكون لها طاقات كبيرة. وكما ناقشنا من قبل، فإن الجزء يتوقع أنه عند درجات الحرارة العالية هكذا ستكون القوى النووية الضعيفة والقوية والقوة الكهرومغناطية كلها موحدة فى قوة واحدة. وإذا يتمدد الكون فإنه يبرد، وتقل طاقة الجسيمات. وفى النهاية سيكون هناك ما يسمى طور التحول وينكسر ما بين القوى من سمترية: فتصبح القوة القوية مختلفة عن القوى الضعيفة والكهرومغناطية. وأحد الأمثلة الشائعة لحالة من طور التحول هو تجمد الماء عندما تبرده. والماء السائل سمترى، فهو متماثل عند كل نقطة وفى كل اتجاه. على أنه عندما تتكون بلورات الثلج، تصبح لها أوضاع معينة وتصطف فى اتجاه ما. وهذا يكسر سمترية الماء.

وفى حالة الماء، يستطيع المرء، عندما يكون حريصا، أن يبرده «تبريدا فائقا» أى أن المرء يستطيع خفض حرارته إلى ما تحت نقطة التجمد (درجة الصفر المئوى) بدون أن يتكون الثلج. وقد اقترح جوت أن الكون ربما يسلك على نحو مماثل: فالحرارة قد تهبط لأقل من القيمة الحرجة دون أن ينكسر ما بين القوى من سمترية. وإذا حدث هذا، فإن الكون سيصبح فى حالة غير مستقرة، وبه طاقة أكبر مما لو كانت السمترية قد انكسرت. وهذه الطاقة الخاصة الإضافية يمكن أن يُبين أن لها تأثيرا مضادا للجاذبية: فسيكون لها مفعول يشبه تماما الثابت الكونى الذى أدخله أينشتاين إلى النسبية العامة عندما كان يحاول بناء نموذج استاتيكي للكون. وحيث أن الكون فى حالة تمدد من قبل تماما مثلما فى نموذج الانفجار الكبير الساخن، فإن المفعول التنافرى لهذا الثابت الكونى سيجعل الكون إذن يعتمد بسرعة تتزايد أبدا. وحتى فى المناطق التى تكون جسيمات المادة فيها أكثر من المتوسط، فإن شد جاذبية المادة سيتفوق عليه مفعول هذا الثابت الكونى التنافرى. وهكذا فإن هذه المناطق ستتمدد أيضا على نحو انتفاخى متزايد السرعة. وإذا هى تتمدد ويزيد تباعد الجسيمات، فإن المرء سيجد كونا متمددا يحوى بالكاد أى جسيمات وما زال فى حالة البرودة الفائقة. وأى أوجه عدم انتظام فى الكون سيتم ببساطة تسويتها بالتمدد، مثلما تُسوى تجعدات البالونه عندما تنفخها. وهكذا فإن حالة الكون الحالية من استواء واتساق يمكن أن تتطور من حالات ابتدائية كثيرة مختلفة وغير متسقة.

وفى كون كهذا، حيث سرعة التمدد تتزايد بثابت كونى بدلا من أن تتناقص بشد جاذبية المادة، فإنه سيكون هناك وقت كاف لأن ينتقل الضوء من منطقة لأخرى فى الكون المبكر. وهذا يمكن أن يمدنا بحل للمشكلة التى سبق إثارتها، عما هو السبب فى أن المناطق المختلفة فى الكون المبكر لها نفس الخصائص. وفوق ذلك فإن معدل تمدد الكون سيصبح أوتوماتيكيا قريبا جدا من المعدل الحرج الذى يحدده كثافة طاقة الكون. وهذا يمكن أن يفسر السبب فى أن معدل تمدد الكون يظل قريبا جدا من المعدل الحرج، دون الحاجة إلى افتراض أن سرعة التمدد الابتدائية قد اختيرت بحرص بالغ.

وفكرة الانتفاخ يمكن أيضا أن تفسر السبب فى كثرة وجود المادة هكذا فى الكون. فهناك ما يكاد يبلغ عشرة مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون جسيما (١ يعقبه ثمانون صفرا) فى منطقة الكون التى يمكننا رصدها. من أين أتت كلها؟ والإجابة هى أنه، فى نظرية الكم، يمكن خلق الجسيمات من الطاقة فى شكل أزواج من الجسيم / مضاد الجسيم. ولكن هذا بالضبط يثير التساؤل عن المصدر الذى أتت منه الطاقة. والإجابة هى أن الطاقة الكلية للكون هى بالضبط صفر. والمادة فى الكون مصنوعة من طاقة إيجابية. إلا أن المادة كلها تجذب نفسها بالجاذبية، وجزءا المادة اللذان يكونان قرييين أحدهما من

الأخر يكون لهما طاقة أقل مما لنفس الجزئين عندما يتباعدا لمسافة كبيرة، لأنه سيكون عليك أن تبذل طاقة لفصلهما ضد قوى الجاذبية التي تشدهما معا. وهكذا، فبمعنى ما، يكون لمجال قوة الجاذبية طاقة سالبة. وفي حالة الكون الذي يكون على وجه التقريب متسقا في المكان، يمكن للمرء أن يبين أن طاقة الجاذبية السالبة هذه تلغى بالضبط الطاقة الموجبة التي تعطيها المادة. وهكذا فإن الطاقة الكلية للكون هي صفر.

والآن فإن ضعف الصفر هو أيضا صفر. وإن كان الكون يمكن أن يضاعف كمية طاقة المادة الموجبة ويضاعف أيضا طاقة الجاذبية السالبة دون أن ينتهك بقاء الطاقة. ولا يحدث هذا في حالة التمدد الطبيعي للكون حيث تقل كثافة طاقة المادة بزيادة حجم الكون. على أن هذا يحدث فعلا في التمدد الانتفاخي، لأن كثافة الطاقة للحالة فائقة التبريد تظل ثابتة أثناء تمدد الكون؛ وعندما يتضاعف حجم الكون، فإن طاقة المادة الموجبة هي وطاقة الجاذبية السالبة كلاهما يتضاعف، وهكذا تظل الطاقة الكلية صفرا. والكون أثناء الطور الانتفاخي يزيد من حجمه بقدر كبير جدا. وهكذا فإن الكمية الكلية للطاقة المتاحة لصنع الجسيمات تصبح كبيرة جدا. وكما يذكر جوث فإنه يقال أنه لا يوجد شئ مثل وجبة غذاء مجانية. ولكن الكون هو الغذاء المجاني النهائي.

والكون في وقتنا الحاضر لا يعتمد على نحر انتفاخي. وهكذا فإن هناك بالضرورة آلية ما للتخلص من الثابت الكوني البالغ الكبر والفعالية وبذا يتغير معدل التمدد من معدل متزايد إلى معدل يتم تقليله بالجاذبية، كما هو لدينا حاليا. وفي التمدد الانتفاخي قد يتوقع المرء أن ما بين القوى من سمترية سينكسر في النهاية، تماما مثلما يحدث للماء الفائق التبريد أن يتجمد دائما في النهاية. وهذا فإن الطاقة الإضافية لحالة السمترية غير المنكسرة ستنتقل وتعيد تسخين الكون إلى درجة حرارة هي بالضبط أقل من الحرارة الحرجة للسمترية بين القوى. وهذا فإن الكون سيواصل التمدد والبرودة تماما مثل نموذج الانفجار الكبير الساخن، ولكن سيكون هناك الآن تفسير للسبب في أن الكون يعتمد بالضبط بالسرعة الحرجة، والسبب في أن المناطق المختلفة لها درجة الحرارة نفسها.

والمفروض في فرض جوث الأصلي أن طور التحول يقع فجأة، بما يكاد يشبه ظهور بلورات الثلج في الماء البارد جدا. والفكرة هي أن «فقاعات» من الطور الجديد ذي السمترية المكسورة ستكون من داخل الطور القديم، مثل فقاعات البخار المحاطة بماء يغلي. ومن المفروض أن الفقاعات سوف تتمدد وتندمج إحداها بالأخرى حتى يصبح الكون كله في الطور الجديد. والمشكلة كما بينتها أنا والعديون غيري، هي أن الكون كان يتمدد بسرعة كبيرة لدرجة أنه حتى لو كانت الفقاعات تنمو بسرعة الضوء، فإنها ستبتعد إحداها عن الأخرى، وهكذا لا تستطيع أن تلصق معا. وسيظل الكون في حالة بالغلة من عدم الاتساق، مع وجود بعض مناطق تظل بها سمترية بين

القوى المختلفة. ومثل هذا النموذج للكون لا يطابق ما نراه.

وفى أكتوبر ١٩٨١، ذهبت إلى موسكو لحضور مؤتمر عن جاذبية الكم. وبعد المؤتمر أُلقيت كلمة فى ندوة عن النموذج الانتفاخى ومشكلاته فى معهد سترنبرج الفلكى. وكنت قبل ذلك، قد جئت بشخص غيرى ليلقى محاضرات نيابة عني، لأن معظم الناس لا يمكنهم فهم صوتى. على أنه لم يكن هناك وقت للإعداد لهذه الندوة، فألقيت كلمتى بنفسى، بينما كان أحد طلابى الجامعيين يكرر كلماتى. وقد أوفى ذلك بالغرض جيدا، وأعطانى تواصلًا أكثر كثيرا بمستعمى. وكان بين المستمعين شاب روسى، يدعى أندريا لند من معهد ليبيديف بموسكو، وقال إن مشكلة عدم انضمام الفقاعات معا يمكن تجنبها لو أن الفقاعات كانت من الكبر بحيث تكون منطقتنا من الكون محتواة كلها داخل فقاعة واحدة. وحتى تكون هذه الفكرة صالحة، فإن التغير من السمترية إلى السمترية المكسورة لا بد وأن يحدث داخل الفقاعة ببطء شديد، ولكن هذا ممكن تماما حسب النظريات الموحدة العظمى. وكانت فكرة لند عن التكسر البطئ للسمترية فكرة جيدا جدا، ولكنى تبينت فيما بعد أن فقاعاته لا بد وأن يكون لها حجم أكبر من حجم الكون وقتها! وبينت أنه بدلا من ذلك فإن السمترية تنكسر فى كل مكان فى نفس الوقت، بئولى من أن يحدث ذلك داخل الفقاعات وحسب. وسيؤدى هذا إلى كون متسق كما نشهده. وانفعلت جدا بهذا الفكرة وناقشتها مع أحد طلبتى، وهو أيان موس. إلا أننى كصديق لند تملكنى الحرج نوعا ما، عندما أرسلت لى بعدها ورقة بحثه بواسطة مجلة طمعية وسُئلت إذا ما كانت صالحة للنشر. وأجبت بأن فيها ذلك الخطأ من أن الفقائع ستكون أكبر من الكون، إلا أن الفكرة الأساسية للتكسر البطئ للسمترية هى فكرة جيدة جدا. وأوصيت أن تنشر الورقة كما هى، لأن تصحيحها سيستغرق من لند شهورا عديدة، حيث أن كل ما يُرسل إلى الغرب يجب أن تمرره الرقابة السوفيتية، وهى رقابة ليست جد بارعة ولا جد سريعة فيما يختص بلوراق البحث العلمية. وكتبت بدلا من ذلك ورقة بحث قصيرة مع أيان موس فى نفس المجلة بيّنا فيها مشكلة الفقاعة هذه وكيف يمكن حلها.

وفى اليوم التالى لعودتى من موسكو، أخذت فى الرحيل إلى فيلادلفيا، حيث كان قد حان استلامى لميدالية من معهد فرانكلين. وقد استخدمت سكرتيرتى جودى فلا ما لها من سحر غير قليل لحث الخطوط الجوية البريطانية على منحى وإياها مقاعد مجانية على طائرة كونكورد كمساهمة دعائية. على أنى حُجزت فى طريقى للمطار بوابل مطر ثقيل وتخلفت عن الطائرة. ومع كل، فقد وصلت فى النهاية إلى فيلادلفيا وتلقيت ميداليتى. ثم سُئلت بعدها أن ألقى كلمة فى ندوة عن الكون الانتفاخى فى جامعة دريكسل بفيلادلفيا. وألقيت نفس الكلمة عن مشكلات الكون الانتفاخى، تمام كما فى موسكو.

ويعد عدة شهور طرحت بصورة مستقلة فكرة مماثلة تماما لفكرة لند وذلك بواسطة بول شتينهارت وأندرياس البرخت من جامعة بنسلفانيا. والآن فإنهما ولند يُعزى لهم ما يسمى «النموذج الانتفاخي الجديد، الذى ينأس على فكرة التكسير البطئ للسمترية. (النموذج الانتفاخي القديم هو اقتراح جوت الأصلى بالتكسير السريع للسمترية مع تكوين الفقاعات).

كان النموذج الانتفاخي الجديد محاولة طيبة لتفسير لماذا يكون الكون بما هو عليه. على أنى مع العنيدىن غيرى قد بينا أنه، على الأقل فى شكله الأصلى، يتتبأ بتباينات فى درجة حرارة إشعاع الخلفية الميكروويفية أعظم كثيرا مما يرصد. كما أن البحث اللاحق قد ألقى الشك على إمكان وجود طور تحول فى الكون المبكر جدا من النوع المطلوب. وفى رأى الخاص، فإن النموذج الانتفاخي الجديد كنظرية علمية قدمات الآن، وإن كان يبدو أن أناسا كثيرين لم يسمعوا برفاته وما زالوا يكتبون أوراق بحث وكائنه ما زال حيا. وقد طرح لند فى ١٩٨٣ نموذجا أفضل يسمى النموذج الانتفاخي الشواشى. وفيه لا يوجد طور تحول أو تبريد فائق. وبدلا من ذلك، فإن ثمة مجالا من لف صفر، هو بسبب تنبذبات الكم تكون قيمته كبيرة فى بعض المناطق من الكون المبكر. وطاقة المجال فى هذه المناطق ستسلك ككثايت كونى. وسيكون لها مفعول منافر للجاذبية، وهكذا سيجعل تلك المناطق تتمدد على نحو انتفاخي. وإذا يحدث لها التمدد، فإن طاقة المجال فيها تقل ببطء حتى يتغير التمدد الانتفاخي إلى تمدد من مثل ذلك النوع الذى فى نموذج الانفجار الكبير الساخن. وتصبح إحدى هذه المناطق ما نراه الآن على أنه الكون القابل للرصد. ولهذا النموذج كل مزايا النماذج الانتفاخية السابقة، ولكنه لا يعتمد على طور تحول مشكوك فى أمره، وفوق ذلك فإنه يمكن أن يعطى حجما معقولا للتنبذبات فى درجة حرارة الخلفية الميكروويفية يتفق مع المشاهدة.

وقد بين هذا البحث على النماذج الانتفاخية أن الوضع الحالى للكون هو مما قد ينشأ عن عدد كبير نوعا من الأشكال الابتدائية المختلفة وهذا أمر هام، لأنه يبين أن الحالة الابتدائية لجزء الكون الذى نسكنه لا يجب أن تكون منتقاة بحرص عظيم. وهكذا فإنه يمكننا، لو شئنا، أن نستخدم المبدأ الإنسانى الضعيف لتفسير السبب فى أن الكون يبدو بما هو عليه الآن. على أنه لا يمكن أن يكون الحال بحيث أن «كل» شكل ابتدائى سيؤدى إلى كون مثل الذى نشهده. ويمكن للمرء أن يبين ذلك بالنظر إلى حالة الكون فى وقتنا الحالى تكون مختلفة جدا، كان يكون الكون مثلا بالغ الوعورة وعدم الانتظام. ويمكن أن يستخدم المرء قوانين العلم للذهاب بتطوير الكون وراء فى الزمان لتحديد شكله فى الأزمنة السابقة. وحسب نظريات المفردة فى النسبية العامة الكلاسيكية فإنه ستظل هناك مفردة الانفجار الكبير. ولو طورت كونا كهذا قديما فى الزمان حسب قوانين العلم فسوف تنتهى إلى الحالة التى بدأت بها من وعورة وعدم انتظام. وهكذا فإنه يلزم أنه كان ثمة أشكال

ابتدائية لا تؤدي إلى نشأة كون مثل الكون الذى نراه فى وقتنا الحالى. وهكذا فإنه حتى النماذج الانتفاخية لا تخبرنا عن السبب فى أن الشكل الابتدائى لم يكن بحيث ينتج شيئا يختلف تماما عما نشاهده. أفيجب أن نلقت إلى المبدأ الإنسانى طلبا للتفسير؟ أكان الأمر كله صدفة محظوظة؟ إن هذا يبدو كخطة من اليأس، وكفى لكل آمالنا فى أن نفهم النظام الأساسى للكون.

وحتى نتقبا بما ينبغى أن يكون الكون قد بدأ به، فإن الواحد يحتاج إلى قوانين تصلح لبداية الزمان. ولو كانت نظرية النسبية العامة صحيحة، فإن نظريات المفردة التى برهن عليها روجر بنروز وإيلى تبين أن بداية الزمان تكون نقطة كثافة لا متناهية وانحناء لا متناهى للمكان - الزمان. وكل قوانين العلم المعروفة تنهار عند نقطة كهذه. والمرء أن يفترض أن ثمة قوانين جديدة تصلح للمفردات، ولكن سيكون من الصعب جدا أن نصوغ حتى مثل هذه القوانين عند نقط سيئة السلوك هكذا، وإن يكون لدينا مرشد من المشاهدات لما قد تكون عليه هذه القوانين. على أن ما تدل عليه حقا نظريات المفردة هو أن مجال الجاذبية يصبح من القوة بحيث أن تأثيرات الكم الجاذبية تصبح مهمة: ولا تعود النظرية الكلاسيكية بعد توصيفا جيدا للكون. وهكذا يصبح على المرء أن يستخدم نظرية كم للجاذبية لمناقشة أحوال الكون المبكرة جدا. وكما سوف نرى، فإن من الممكن لنظرية الكم لقوانين العلم العادية أن تصلح فى أى مجال، بما فى ذلك ما عند بداية الزمان: ولا يصبح من الضرورى افتراض قوانين جديدة للمفردات، لأنه ما من حاجة لوجود أى مفردات فى نظرية الكم.

وايس لدينا بعد نظرية كاملة متماسكة تجمع ميكانيكا الكم والجاذبية. على أننا واثقون نوعا من بعض الملامح التى ينبغى أن تكون لمثل هذه النظرية الموحدة. فقلوا ينبغى أن تتضمن فرض فينمان لصياغة نظرية الكم بلفة من حاصل جمع التواريخ. وفى هذا التناول لا يكون للجسيم الواحد تاريخ واحد فقط كما فى النظرية الكلاسيكية. وبدلا من ذلك، يُفترض أنه يتبع كل مسار ممكن فى المكان - الزمان، وفى كل من هذه التواريخ يكون مصحوبا بزوج من الأرقام، أحدهما يمثل حجم موجة والآخر يمثل وضعه فى الدورة (طوره). واحتمال أن الجسيم مثلا، يمر من خلال نقطة معينة، يمكن إيجاده بحاصل جمع الموجات المصاحبة لكل تاريخ ممكن يمر من خلال هذه النقطة. على أنه عندما يحاول المرء بالفعل أداء عمليات الجمع هذه، فإنه تعترضه مشاكل تقنية بالغة الصعوبة. والطريقة الوحيدة للتحايل عليها هى الوصفة العجيبة التالية: يجب أن يجمع المرء موجات تواريخ الجسيم التى ليست فى الزمان «الحقيقى» الذى نمارسه أنا وأنت وإنما تحدث فيما يسمى بالزمان التخيلى. والزمان التخيلى قد يبدو كرواية علمية ولكنه فى الحقيقة مفهوم رياضى معروف على وجه التحديد. وعندما نأخذ أى رقم عادى (أو «حقيقى») ونضربه فى نفسه، فإن النتيجة تكون رقما موجبا. (وكمثل فإن ٢ مضروبة فى ٢ تساوى ٤، على أن - ٢ مضروبة فى - ٢ تكون بمثل ذلك).

إلا أن هناك أرقاما خاصة (تسمى تخيلية) تعطى أرقاما سالبة عندما تضرب فى نفسها (العدد المسمى 1 ، عندما يضرب فى نفسه يعطى - 1 ، و ٢ (i) مضروبة فى نفسها تعطى - ٤ وهلم جرا). ولتجنب الصعوبات التقنية فى حاصل جمع تواريخ فينمان، يجب أن يستخدم المرء زمانا تخيليا. بمعنى، أنه لأغراض الحساب يجب أن يقيس المرء الزمان باستخدام أرقام تخيلية، بدلا من الأرقام الحقيقية. ولهذا تأثير شيق على المكان - الزمان : فالتمييز بين الزمان والمكان يختفى تماما. والمكان - الزمان الذى تكون للأحداث فيه قيم تخيلية لإحداثى الزمان يقال عنه أنه إقليدى، نسبة للإغريق القديم إقليدس، الذى أسس دراسة هندسة الأسطح ذات البعدين. وما نسميه الآن المكان - الزمان الإقليدى يشابه ذلك كثيرا فيما عدا أن له أربعة أبعاد بدلا من اثنين. وفى المكان - الزمان الإقليدى لا يوجد فارق بين اتجاه الزمان والاتجاهات فى المكان. ومن الناحية الأخرى، فى المكان - الزمان الحقيقى، حيث تُعنون الأحداث بقيم عادية حقيقية لإحداثى الزمان، فإن من السهل معرفة الفارق - فاتجاه الزمان عند كل النقط يقع داخل مخروط الضوء، واتجاهات المكان تقع خارجه. وعلى أى حال، ففيما يختص بميكانيكا الكم فى الحياة اليومية، فإننا يمكن أن ننظر إلى استخدامنا للزمان التخيلى والمكان - الزمان الإقليدى كمجرد وسيلة (أو حيلة) رياضية لحساب الأجوبة عن المكان - الزمان الحقيقى.

والملمح الثانى الذى نعتقد أنه يجب أن يكون جزءا من أى نظرية نهائية هو فكرة أينشتين من أن مجال الجاذبية يمثل المكان - الزمان المنحنى : فالجسيمات تحاول أن تتبع أقرب شئ للمسار المباشر فى المكان المنحنى، ولكن حيث أن المكان - الزمان ليس مسطحا فإن مساراتها تبدو مقوسة، كما لو كان ذلك بواسطة مجال الجاذبية. وعند تطبيق حاصل جمع فينمان للتواريخ على نظرية أينشتين للجاذبية، فإن القياس المماثل لتاريخ أحد الجسيمات هو الآن المكان - الزمان المنحنى الكامل، الذى يمثل تاريخ الكون كله. ولتجنب الصعوبات التقنية عند حساب حاصل جمع التواريخ بالفعل، فإن هذه الأمكنة - الأزمنة المنحنية ينبغى أن تؤخذ على أنها إقليدية. بمعنى، أن الزمان تخيلى ولا يمكن تمييزه عن الاتجاهات فى المكان. ولحساب احتمال العثور على مكان - زمان حقيقى له خاصية ما معينة، كان يبدو متماثلا عند كل نقطة وفى كل اتجاه، فإن المرء يجمع الموجات المصاحبة لكل التواريخ التى لها تلك الخاصية.

وفى نظرية النسبية العامة الكلاسيكية، يوجد الكثير من الأمكنة - الأزمنة المنحنية المحتملة المختلفة، وكل منها يقابل حالة ابتدائية مختلفة من الكون. ولو عرفنا الحالة الابتدائية لكوننا، فإننا سنعرف كل تاريخه. وبالمثل، فى نظرية الكم للجاذبية، توجد للكون حالات كم كثيرة مختلفة محتملة. ومرة أخرى، فلو عرفنا كيف سلكت الأمكنة - الأزمنة الإقليدية المنحنية فى حاصل جمع التواريخ

فى الأزمنة المبكرة، فإننا سوف نعرف حالة الكم للكون.

وفى النظرية الكلاسيكية الجاذبية، التى تتأسس على المكان - الزمان الحقيقى، ليس هناك غير طريقتين محتملتين يمكن أن يسلك بهما الكون : إما أنه قد وجد لزمن لا متناهٍ، أو أنه له بداية عند مفردة عند وقت ما متناهٍ فى الماضى. ومن الناحية الأخرى فإنه فى نظرية الكم للجاذبية، ينشأ احتمال ثالث. فمحيث أن المرء يستخدم أمكنة - أزمنة إقليدية ، حيث اتجاه الزمان هو على نفس الأساس مثل الاتجاهات فى المكان، فإن من الممكن للمكان - الزمان أن يكون متناهيا فى مداه ومع ذلك ليس له مفردة تشكل حداً أو حرفاً. وسيكون المكان - الزمان مثل سطح الأرض، إلا أن له بعدين أكثر. وسطح الأرض متناهى فى مداه ولكنه ليس له حد ولا حرف؛ ولو انطلقت مبحراً فى الغروب، فإنك لن تقع من على الحرف أو تصطدم بمفردة. (وأنا أعرف ذلك، لأنى قد برت حول الأرض!).

وإذا كان المكان - الزمان الإقليدى يمتد وراء إلى زمان تخيلى لا متناهٍ، أو أنه بدلا من ذلك قد بدأ عند مفردة فى الزمان التخيلى، فسيكون لدينا نفس المشكلة كما فى النظرية الكلاسيكية بأن تعيين الحالة الابتدائية للكون: فنحن لا نستطيع إعطاء أى سبب يعينه لتصور أنه قد بدأ بهذه الطريقة بدلا من الأخرى. ومن الناحية الأخرى، فإن نظرية الكم للجاذبية قد فتحت الطريق لاحتمال جديد، حيث لا يكون للمكان - الزمان حد وهكذا لا يكون ثمة حاجة لتعيين السلوك عند هذا الحد. وإن يكون ثمة مفردة تنهار عندها القوانين العلمية وإن يكون ثمة حرف للمكان - الزمان حيث يضطر المرء لاستدعاء قانون ما جديد لوضع الشروط الحدية للمكان - الزمان. ويمكن للمرء أن يقول إن «الشروط الحدى للكون هو أنه ليس له حد». ويكون الكون بلا بداية ولا نهاية وإنما هو «موجود» وحسب.

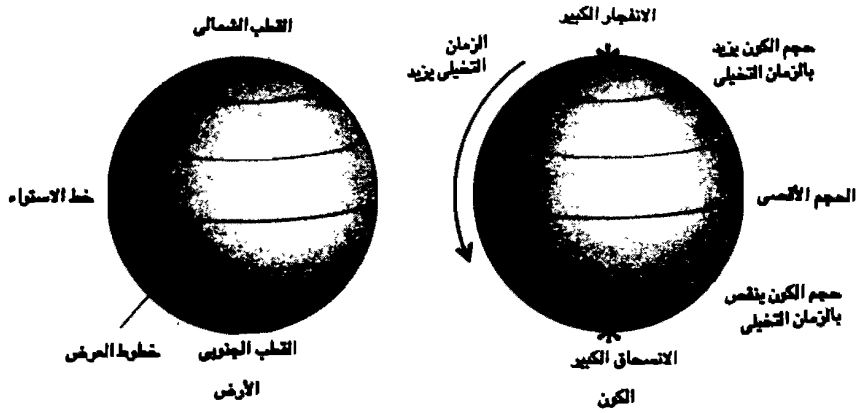
وفى مؤتمر الفاتيكان السابق ذكره طرحت لأول مرة اقتراح أن الزمان والمكان ربما يشكلان معا سطحا متناهيا فى حجمه ولكن ليس له أى حد أو حرف. وكانت ورقة بحثى رياضىة نوعا. ولم أكن أعرف وقت مؤتمر الفاتيكان طريقة استخدام فكرة (اللاحدية) للتنبؤ بما يتعلق بالكون. على أنى أنفقت الصيف التالى فى جامعة كاليفورنيا، سانتا باربرا. وهناك استتبطت أنا وزميلي وصديقى جيم هارتل الشروط التى يجب أن يفي بها الكون لو كان المكان - الزمان ليس له حد. وعندما عدت إلى كمبريدج، واصلت هذا البحث مع اثنين من طلاب البحوث عندي وهما جوليان لوتزل وجوناثان هاليول.

وأود أن أؤكد أن هذه الفكرة عن أن الزمان والمكان ينبغى أن يكونا متناهيين وبلا حد هى مجرد «افتراض» : فهى لا يمكن استنباطها من مبدأ آخر. ومثل أى نظرية علمية أخرى فإنها يمكن

طرحها ابتداء لأسباب جمالية أو ميتافيزيقية، ولكن الاختيار الحقيقي لها هو ما إذا كانت تؤدي إلى تنبؤات تتفق مع المشاهدة. على أن هذا ما يصعب تقريره في حالة الكم الجاذبية، وذلك لسببين: الأول، كما سيتم شرحه في الفصل التالي، أننا لسنا للآن متأكدين بالضبط بشأن أى النظريات العلمية سوف تجمع بنجاح النسبية العامة وميكانيكا الكم، وإن كنا نعرف الشئ الكثير إلى حد ما عن الشكل الذى يجب أن تكون عليه نظرية كهذه. والثانى، أن أى نموذج يصف الكون بأسره بالتفصيل سيكون رياضيا معقدا لنا للغاية بحيث لا نستطيع حساب تنبؤات مضبوطة. وعلى المرء إذن أن يصنع افتراضات وتقريبات مبسطة. وحتى بعد ذلك، فإن مشكلة استخلاص التنبؤات تظل مشكلة قوية.

وكل تاريخ في حاصل جمع التواريخ سوف لا يصف المكان - الزمان وحده وإنما أيضا كل شئ من داخله، بما في ذلك أى كائنات معقدة مثل الكائنات البشرية التى تستطيع رصد تاريخ الكون. وقد يمد هذا بتقرير آخر للمبدأ الإنسانى، ذلك أنه لو كانت كل التواريخ ممكنة، فإننا - طالما أننا نوجد في أحد التواريخ نستطيع استخدام المبدأ الإنسانى لتفسير السبب في أن الكون موجود بما هو عليه. وليس من الواضح بالضبط، أى معنى يمكن إضفاؤه على التواريخ الأخرى التى لا نوجد فيها. على أن هذه النظرة لنظرية كم الجاذبية تكون مرضية إلى حد أكبر كثيرا، لو أمكن للمرء أن يبين أنه باستخدام حاصل جمع التواريخ، فإن كوننا ليس مجرد أحد التواريخ الممكنة ولكنه واحد من أكثر التواريخ احتمالا. وللقيام بذلك، يجب أن نحسب حاصل جمع التواريخ لكل ما هو ممكن من الأمكنة - الأزمنة الإقليدية التى بلا حد.

وحسب فرض اللاهدية، يتطم المرء أن فرصة أن نجد الكون متبعا لمعظم التواريخ الممكنة نهى فرصة جديرة بالإهمال، ولكن ثمة عائلة معينة من التواريخ تكون أكثر احتمالا بكثير من التواريخ الأخرى - ويمكن تصوير عائلة التواريخ هذه بأنها تشبه سطح الأرض، حيث المسافة من القطب الشمالى تمثل زمنا تخيليا وحجم الدائرة التى على مسافة ثابتة من القطب الشمالى تمثل الحجم الفضائى للكون. والكون يبدأ عند القطب الشمالى كنقطة وحيدة. وإذا يتحرك الواحد جنوبا، فإن دوائر خطوط العرض التى على مسافة ثابتة من القطب الشمالى تصبح أكبر بما يقابل تمدد الكون بالزمان التخيلى (شكل ٨.١). وسيصل الكون إلى أقصى حجم عند خط الاستواء وسوف ينكمش بتزايد الزمان التخيلى ليصل إلى نقطة واحدة عند القطب الجنوبي. ورغم أن حجم الكون سيكون صفرا عند القطبين الشمالى والجنوبى، فإن هاتين النقطتين لن تكونا مفردتين، بأكثر مما يكون قطبا الأرض الشمالى والجنوبى فريدين. وتستطبق قوانين العلم عليهما، مثلما تنطبق على القطبين الشمالى والجنوبى على الأرض.



شكل ٨، ١

إلا أن تاريخ الكون، في الزمان الحقيقي، سيبدو مختلفا جدا. فمئذ ما يقرب من عشرة أو عشرين ألف مليون سنة، كان له حجم أدنى، يساوى أقصى نصف قطر للتاريخ في الزمان التخليقي. وفي الأزمنة الحقيقية اللاحقة، سيتمدد الكون على مثال النموذج التضخمي الفوضوي الذي اقترحه لند (ولكن ليس على المرء الآن افتراض أن الكون قد نشأ بطريقة ما في الحالة ذات النوع المناسب). وسوف يتمدد الكون إلى حجم كبير جدا ثم يتقلص ثانية في النهاية إلى ما يبدو كمفردة في الزمان الحقيقي. وهكذا، فبمعنى ما، فإننا ما زلنا كلنا يتحتم هلاكنا، حتى ولو بقينا بعيدا عن الثقوب السوداء. ولن ينتفى وجود المفردات إلا إذا أمكننا تصوير الكون بحدود من الزمان التخليقي.

وإذا كان الكون حقا في مثل هذه الحالة من الكم، فإنه لن يكون ثمة مفردات في تاريخ الكون في الزمان التخليقي. وقد يبدو إذن أن بحثي الأحد قد أبطل تماما نتائج بحثي الأقدم من المفردات. ولكن، وكما سبق بيانه، فإن الأهمية الحقيقية لنظريات المفردة هي أنها قد بينت أن مجال الجاذبية يصبح فيما يجب من القوة بحيث أن تأثيرات كم الجاذبية لا يمكن تجاهلها. وقد أدى هذا بدوره إلى فكرة أن الكون يمكن أن يكون متناهما في الزمان التخليقي ولكنه بلا حدود أو مفردات، على أنه عندما يعود المرء إلى الزمان الحقيقي الذي نعيش فيه، فإنه فيما يظهر ستظل هناك مفردات. والظكى الشمس الذى يقع فى ثقب أسود سيظل مصيره إلى نهاية مؤلة: إلا إذا عاش

وحسب في الزمان التخيلي حيث لن يجابه بمفردات.

واعلم هذا فيه اقتراح بأن ما يسمى الزمان التخيلي هو حقا الزمان الحقيقي، وما نسميه الزمان الحقيقي هو مجرد تلفيق من خيالنا. وفي الزمان الحقيقي، يكون للكون بداية ونهاية هند مفردات تشكل حدا للمكان - الزمان، وتتهار عندما قوانين العلم. أما في الزمان التخيلي، فليس من مفردات ولا حدود. وهكذا فقد يكون ما نسميه زمانا تخيليا هو حقا الزمان الأكثر جوهرية، وما نسميه زمانا حقيقيا هو مجرد فكرة اخترعناها لمساعدتنا على توصيف ما نظن أن الكون يشبهه. ولكن النظرية العلمية، حسب التناول الذي وصفته في الفصل الأول، هي فحسب نموذج رياضي نصنعه لتوصيف مشاهداتنا: فهو يتواجد فقط في عقولنا. وهكذا يكون مما لا معنى له أن نسال: أيهما الحقيقي، الزمان الحقيقي، أو التخيلي؟ فالأمر ببساطة هو أيهما التوصيف الأكثر فائدة.

ويمكننا أيضا أن نستخدم حاصل جمع التواريخ، هو وفرض اللاحدية، لاكتشاف أي خصائص الكون هي التي يحتمل أن تحدث معا. وكمثل، فإن المرء يستطيع أن يحسب احتمال أن الكون يعتمد بنفس المعدل تقريبا في كل الاتجاهات المختلفة في الوقت الذي تكون فيه كثافة الكون بقيمتها الحالية. والنماذج المبسطة التي تم اختبارها حتى الآن، يثبت فيها في النهاية أن هذا الاحتمال مرتفع؛ أي أن شرط اللاحدية المفترض يؤدي إلى التنبؤ بأن من المحتمل جدا أن المعدل الحالي لتمدد الكون هو متماثل تقريبا في كل اتجاه. وهذا يتفق مع مشاهدات إشعاع الخلفية الميكرويفية، مما يبين أن له ما يكاد يكون بالضبط نفس الكثافة في أي اتجاه. ولو كان الكون يعتمد في بعض الاتجاهات بأسرع مما في اتجاهات أخرى، فإن كثافة الإشعاع في هذه الاتجاهات كانت ستقل بمزيد من الإزاحة الحمراء.

والتنبؤات الأخرى لشرط اللاحدية يجري الآن بحثها. وإحدى المشاكل التي تثير الاهتمام بالذات هي مشكلة حجم الانحرافات الصغيرة عن الكثافة المتسقة في الكون المبكر والتي سببت تكوين المجرات أولا، ثم النجوم، وأخيرا تكويننا نحن. ويدل مبدأ عدم اليقين على أن الكون المبكر لا يمكن أن يكون متسقا بشكل كامل لأنه لا بد من وجود بعض أوجه عدم اليقين أو التذبذبات في مواضع وسرعات الجسيمات. وباستخدام شرط اللاحدية، نجد أن الكون يجب حقيقة أن يكون قد بدأ بالضبط بادنى قدر ممكن من عدم الاتساق يسمح به مبدأ عدم اليقين. وسوف يمر الكون بعدها بفترة من التمدد السريع، كما في النماذج الانفجارية. وأثناء هذه الفترة، فإن أوجه عدم الاتساق الابتدائية يتم تضخيمها حتى تصبح كبيرة بما يكفي لتفسير أصل البنيات التي نلاحظها فيما حولنا. وفي كون متمدن، حيث كثافة المادة فيه تختلف هونا من مكان لآخر، فإن الجاذبية سوف تتسبب في أن تبطن المناطق الأكثر كثافة من تمددها وتبدأ في الانكماش. وسيؤدي هذا إلى تكوين

المجرات، والنجوم، ويؤدي حتى في النهاية إلى تكوين مخلوقات تافهة مثلنا نحن. وهكذا فإن كل البنيات المعقدة التي نراها في الكون يمكن تفسيرها بشرط اللاحدية للكون هو ومبدأ عدم اليقين في ميكانيكا الكم.

وفكرة أن المكان والزمان قد يكونان مسطحا مغلقا بلا حد لها أيضا دلالات عميقة على فلسفة شئون الكون. ومع نجاح النظريات العلمية في توصيف الأحداث، وصل معظم الناس إلى الإيمان بأن الكون جُعل ليتطور حسب مجموعة من القوانين التي لا تُكسر. على أن هذه القوانين لا تخبرنا بما ينبغي أن يكون الكون عليه عند بدايته. على أنه لو كان الكون حقا بلا بداية وبلا حرف، فإنه لا تكون له بداية ولا نهاية: فهو ببساطة موجود.



سهم الزمان

وأينا في الفصول السابقة كيف أن أراخا عن طبيعة الزمان قد تغيرت عبر السنين. وحتى بداية هذا القرن كان الناس يؤمنون بزمان مطلق. بمعنى أن أى حدث يمكن عنوانته برقم يسمى «الزمان»، بطريقة وحيدة. فكل الساعات الجيدة تتفق على الفترة الزمنية ما بين حدثين. على أن اكتشاف أن سرعة الضوء تبدو متماثلة لكل من يلاحظها، أيا ما كانت طريقة حركته، قد أدى إلى نظرية النسبية - وفي هذه النظرية يكون على المرء أن ينبذ فكرة أن ثمة زمانا مطلقا وحيدا. وبدلا من ذلك، فإن كل ملاحظ سيكون له مقياس الزمان الخاص به كما تسجله الساعة التي يحملها: والساعات التي يحملها ملاحظون مختلفون لا تتفق بالضرورة. وهكذا أصبح الزمان مفهوما شخصيا بدرجة أكبر، منسوبيا للملاحظ الذي يقيسه.

وعندما يحاول المرء توحيد الجانبية مع ميكانيكا الكم، فإن عليه أن يدخل فكرة الزمان «التخيلي» imaginary. والزمان التخيلي لا يمكن تمييزه عن الاتجاهات في المكان. وإذا كان المرء يستطيع أن يذهب شمالا، فإنه يستطيع أن يدور ملتقا ليتجه جنوبا؛ وبما يساوى ذلك فإنه إذا كان المرء يستطيع أن يتجه أماما في الزمان التخيلي، فإنه ينبغي أن يتمكن من أن يدور ملتقا ويتجه وراء. ويعنى هذا أنه لا يمكن أن يكون ثمة فارق مهم بين الاتجاهين الأمامى والخلفى للزمان التخيلي. ومن الناحية الأخرى، فعندما ينظر المرء إلى الزمان «الحقيقى»، يكون هناك فارق كبير جدا بين الاتجاهين الأمامى والخلفى، كما نعرف كلنا. من أين يأتى هذا الفارق بين الماضى والمستقبل؟ لماذا نتذكر الماضى وليس المستقبل؟

إن قوانين العلم لا تميز بين الماضى والمستقبل. وبدقة أكثر وكما تم شرحه سابقا، فإن قوانين العلم لا تتغير وهي تحت تأثير توليفة من العمليات (أو السمتريات) التي تعرف بأحرف T, P, C . (حرف C يعنى إبدال مضادات الجسيمات بالجسيمات، وحرف P يعنى اتخاذ صورة

مرآة، فيتم التبادل بين اليمين واليسار. وحرف T يعنى عكس اتجاه الحركة لكل الجسيمات: أى فى الواقع، تسيير الحركة وراء). وقوانين العلم التى تحكم سلوك المادة فى كل المواقف الطبيعية لا تتغير وهى تحت تأثير توليفة من العمليتين P, C بذاتهما. وبكلمات أخرى فإن الحياة ستكون هى نفسها بالضبط بالنسبة لسكان كوكب آخر ممن يكونون صورة مرآة منا وأيضا مصنوعين من مضاد المادة بدلا من المادة.

وإذا كانت قوانين العلم لا تتغير بتوليفة عمليتي P, C ، وأيضا بتوليفة عمليات T, P, C ، فإنها يجب ألا تتغير أيضا تحت تأثير عملية T وحدها. على أن هناك فارقا كبيرا بين اتجاهى الأمام والوراء للزمن الحقيقى فى الحياة العادية. تصور قدح ماء يقع من على مائدة وينكسر على الأرض إلى قطع. لو أخذت لذلك فيلما سينمائيا، فإنه سيمتلك بسهولة أن تعرف إذا كان الفيلم يسير أماما أو وراء. ولو سيرته وراء فسوف ترى القطع تجمع نفسها معا فجأة من على الأرضية وتقفز عائدة لتكون قححا كاملا على المائدة. ويمكنك أن تعرف أن الفيلم يدار للوراء لأن هذا النوع من السلوك لا يشاهد قط فى الحياة العادية. ولو كان مما يحدث لأفلس صناع الخزف.

والتفسير الذى يعطى عادة للسبب فى أننا لا نرى الأقداح المكسورة تجمع نفسها معا من على الأرضية لتثب عائدة فوق المائدة هو أنه أمر محظور بالقانون الثانى للديناميكا الحرارية. ويقول هذا إنه فى أى نظام مغلق فإن الاضطراب أو الانتروبيا تتزايد دائما بالوقت. وبكلمات أخرى، فإنه شكل من قانون مورفى القائل بأن: الأشياء تنزع دائما لأن يخل نظامها! فالقدح السليم على المائدة هو حالة من نظام على درجة عالية، أما القدح المكسور على الأرض فهو حالة من الاضطراب. ومن السهل أن يعضى المرء من القدح الذى على المائدة قى الماضى إلى القدح المكسور على الأرضية فى المستقبل، ولكن ليس من السهل المضى فى الطريق العكسى.

وزيادة الاضطراب أو الانتروبيا هى مثل من أمثلة ما يسمى سهم الزمان، شئ ما يميز الماضى عن المستقبل، ويعطى للزمان اتجاهًا. وهناك على الأقل ثلاثة أسهم مختلفة للزمان. فلوًا، هناك سهم ديناميكي حرارى للزمان، هو اتجاه الزمان الذى يتزايد فيه الاضطراب أو الانتروبيا. ثم هناك السهم النفسى للزمان. وهذا هو الاتجاه الذى نحس فيه بمرور الزمان، الاتجاه الذى نتذكر فيه الماضى وليس المستقبل. وأخيرا فإن هناك السهم الكونى للزمان. وهذا هو اتجاه الزمان الذى يتمدد فيه الكون بدلا من أن ينكمش.

وفى هذا الفصل سوف أحاج بأن شرط «اللاحدية» no boundary للكون، هو معا والمبدأ الإنسانى الضعيف، يستطيعان تفسير السبب فى أن الأسهم الثلاثة تشير إلى نفس الاتجاه - يستطيعان فوق ذلك تفسير لماذا ينبغي أن يوجد على الإطلاق سهم زمان محدد بصورة دقيقة.

وسوف أحاج بأن السهم النفسى للزمان يتحدد بالسهم الديناميكي الحرارى، وأن هذين السهمين يشيران بالضرورة دائما فى نفس الاتجاه. ولو افترض المرء شرط اللاحدية للكون، فسوف نرى أنه يجب أن يوجد أسهم زمان ديناميكية حرارية وكونية ذات تحدد دقيق، ولكنها لن تشير إلى نفس الاتجاه بالنسبة لكل تاريخ الكون. على أنى سوف أحاج بأنهما عندما يشيران بالفعل إلى نفس الاتجاه فإن الظروف عند ذلك فقط تكون ملائمة لانشأة كائنات ذكية تستطيع أن تسأل عن: لماذا يزيد الاضطراب فى نفس اتجاه الزمان الذى يتمدد فيه الكون؟

وسوف أناقش أولا السهم الديناميكي الحرارى للكون. إن القانون الثانى للديناميكا الحرارية ينتج عن حقيقة أنه يوجد دائما حالات من الاضطراب أكثر بكثير مما يوجد من الحالات المنتظمة. ولنتظر مثلا أمر قطع لعبة الصور المقطعة Jigsaw وهى فى صندوق. فهناك ترتيب واحد، وترتيب واحد فقط، حيث تصنع القطع صورة كاملة. ومن الناحية الأخرى، هناك عدد كبير جدا من الترتيبات التى تكون فيها القطع مضطربة النظام ولا تصنع صورة.

هب أن نسقا قد نشأ وهو فى إحدى الحالات القليلة العدد المنتظمة. وإذا مضى الوقت، سيتطور النسق حسب قوانين العلم وتتغير حالته. وفى وقت لاحق، سيكون الاحتمال الأكبر أن النسق سيكون فى حالة من الاضطراب أكثر من أن يكون فى حالة انتظام لأن عدد حالات الاضطراب أكثر. وهكذا فإن الاضطراب ينزع إلى أن يزيد بمضى الوقت لو أن النسق كان يخضع لحالة ابتدائية على درجة عالية من الانتظام.

هب أن قطع لعبة الصور المقطعة تبدأ فى أحد الصناديق فى الترتيب المنتظم الذى تشكل فيه صورة. لو هزرت الصندوق ستتخذ القطع ترتيبا آخر. وسيكون هذا فيما يحتمل ترتيبا مضطربا حيث القطع لا تشكل صورة صحيحة، وذلك ببساطة لأن هناك ترتيبات مضطربة عددها أكبر كثيرا. وستظل بعض مجموعات القطع تشكل أجزاء من الصورة، ولكن كلما هزرت الصندوق أكثر، زاد احتمال أن تنكسر هذه المجموعات فتصبح القطع فى حالة اضطراب كاملة لا تشكل فيها أى جزء من الصورة. وهكذا فإن اضطراب القطع يزيد فيما يحتمل بمضى الوقت إذا كانت القطع تخضع فى الحالة الابتدائية التى بدأت بها لظرف من درجة نظام عالية.

هب أن الكون قد قُدر له أنه يجب أن ينتهى فى حالة من درجة انتظام عالية ولكن حالته عند بدايته هى مما لا يهيم، فسيكون من المحتمل أن الكون فى المراحل المبكرة كان فى حالة من الاضطراب. وسيعنى هذا أن «الاضطراب» سيقبل بمضى الوقت. وسوف نرى أقداها مكسورة تضم أنفسها معا وتثبت عائدة فوق المائدة. وعلى أى حال فإن أى كائنات بشرية كانت ترقب الاقداح ستكون هائشة فى كون يقل فيه الاضطراب بمضى الوقت. وسوف أحاج بأن كائنات كهذه

سيكون لها سهم نفسى للزمان يتجه وراء. بمعنى أنهم سوف يتذكرون الأحداث فى المستقبل، ولا يتذكرون الأحداث فى الماضى. وعندما كان القدر مكسورا، فإنهم سيتذكرونه موجودا على المائدة، ولكنه عندما كان على المائدة فإنهم لن يتذكروا وجوده على الأرضية.

ومن الأمور الصعبة نوعا التحدث عن الذاكرة البشرية لأننا لا نعرف كيف يعمل المخ بالتفصيل. على أننا نعرف بالفعل كل شئ عن طريقة عمل ذاكرة الكمبيوتر. وهكذا فسوف أناقش السهم النفسى للزمان عند الكمبيوترات. واعتقد أن من المعقول أن نفترض أن سهم الكمبيوترات مماثل لسهم البشر. فهو لو لم يكن كذلك، لاستطاع المرء أن يفوز ببيع هائل مفاجئ فى بورصة الأوراق المالية بأن يكون لديه كمبيوتر يتذكر أسعار الفدا!

وذاكرة الكمبيوتر هى أساسا أداة لاحتواء عناصر يمكن أن توجد فى إحدى حالتين. والمثل البسيط لذلك هو المعداد. وهو فى أبسط أشكاله يتكون من عدد من الأسلاك؛ وعلى كل سلك خزانة يمكن وضعها فى أحد وضعين. وقبل أن يُسجل بند ما فى ذاكرة الكمبيوتر، تكون الذاكرة فى حالة من الاضطراب، مع تساوى الاحتمالات بالنسبة للحالتين الممكنتين. (خز المعداد مبعثر عشوائيا على أسلاكه). وبعد أن تتفاعل الذاكرة مع النمق لتصبح مُتذكِّرة، فإنها تكون بالتاكيد إما فى هذه الحالة أو الأخرى، حسب حالة النمق. (كل خزانة فى المعداد ستكون إما على يسار أو يمين سلك المعداد). وهكذا فإن الذاكرة قد مرت من حالة اضطراب إلى حالة انتظام. وعلى كل، فإنه حتى يتم التكد من أن الذاكرة هى فى الحالة الصحيحة، فإنه من الضرورى استخدام قدر معين من الطاقة (أن تُحرك الخزانة مثلا أو يوصل مصدر القوى للكمبيوتر). وهذه الطاقة تتفرق على شكل حرارة، وتزيد قدر الاضطراب الذى فى الكون. ويمكن للمرء أن يبين أن هذا الاضطراب يكون دائما أكبر من الزيادة فى نظام الذاكرة نفسه.. وهكذا فإن الحرارة المطرودة بواسطة مروحة الكمبيوتر المبردة تعنى أنه عندما يسجل الكمبيوتر بندا فى الذاكرة، فإن القدر الكلى للاضطراب فى الكون سيظل فى ازدياد. واتجاه الزمان الذى يتذكر به أحد الكمبيوترات الماضى هو مماثل للاتجاه الذى يزيد فيه الاضطراب.

وهكذا فإن إحساسنا الذاتى بالزمان، السهم النفسى للزمان، يتحدد إذن داخل مخنا بالسهم الديناميكى الحرارى للزمان. ومثل الكمبيوتر تماما، فإننا يجب أن نتذكر الأشياء فى الاتجاه الذى تزيد فيه الانتروبيا. وهذا يجعل من القانون الثانى للديناميكا الحرارية شيئا يكاد يكون مبتذلا. فالاضطراب يزيد بمرور الوقت لأننا نقيس الزمان فى الاتجاه الذى يزيد فيه الاضطراب. ولا يمكن أن نراه من رهانا أكثر أمنا من ذلك!

ولكن لماذا ينبغى أن يكون هناك على الإطلاق سهم ديناميكى حرارى للزمان؟ أو بكلمات

أخرى، لماذا ينبغي أن يكون الكون في حالة من درجة انتظام عالية عند أحد طرفي الزمان، الطرف الذي نسميه الماضي؟ ولماذا لا يكون الكون في حالة من الاضطراب الكامل في كل الأوقات؟ ورغم كل شيء، فإن هذا هو ما قد يبدو الأكثر احتمالاً. ولماذا يكون اتجاه الزمان الذي يزيد فيه الاضطراب هو نفس الاتجاه الذي يتمدد فيه الكون؟

في النظرية الكلاسيكية للنسبية العامة لا يمكن للمرء أن يتنبأ بالطريقة التي بدأ بها الكون لأن كل قوانين العلم المعروفة ستنتهار عند مفردة الانفجار الكبير. وقد يكون من الممكن أن الكون قد بدأ في حالة هي جذ مستوية ومنظمة وسيكون هذا مما يؤدي إلى أسهم محددة بدقة للزمان الديناميكي الحراري والزمان الكوني، بمثل ما نلاحظ. ولكن قد يكون مما يساوي ذلك إمكانا أن الكون قد بدأ في حالة وعورة واضطراب شديدين. وفي هذه الحالة سيكون الكون بالفعل في حالة من اضطراب كامل، وهكذا فإن الاضطراب لا يمكن أن يزيد بمرور الوقت، وهو إما أن يبقى ثابتاً، وفي هذه الحالة فلن يكون ثمة سهم محدد بدقة للزمان الديناميكي الحراري، أو أنه سينقص، وفي هذه الحالة فإن سهم الزمان الديناميكي الحراري سيشير إلى الاتجاه المضاد للسهم الكوني. ولا يتفق أي من هذين الاحتمالين مع ما نلاحظه. وعلى كل، فكما سبق أن رأينا، فإن النسبية العامة الكلاسيكية تتنبأ بسقوطها هي نفسها. وعندما يصبح انحناء المكان - الزمان كبيراً، تصبح تأثيرات الكم للجاذبية مهمة وتتوقف النظرية الكلاسيكية عن أن تكون توصيفاً جيداً للكون. ويصبح على المرء أن يستخدم نظرية كم للجاذبية حتى يفهم كيف بدأ الكون.

وكما رأينا في الفصل الأخير، فإنه حتى توصف نظرية الكم للجاذبية حالة الكون فإنه سيظل على المرء أن يذكر كيف تسلك التواريخ المحتملة للكون عند حد المكان - الزمان في الماضي. ويستطيع المرء تجنب هذه الصعوبة من أن يكون علينا توصيف ما لا نعرف وما لا نستطيع أن نعرف، وذلك فقط إذا كانت التواريخ تقي بشرط اللاحدية: أي أنها متناهية في مداها. ولكن ليس لها حدود، أو أحرف، أو مفردات. وفي هذه الحالة، فإن بداية الزمان ستكون نقطة منتظمة مستوية من المكان - الزمان ويكون الكون قد بدأ تمده في حالة جذ منتظمة ومستوية. ولكنه لا يمكن أن يكون متسقاً بالكامل، لأن هذا سيكون انتهاكاً لمبدأ عدم اليقين بنظرية الكم. وإنما يجب أن يكون ثمة تذبذبات صغيرة في كثافة وسرعات الجسيمات، على أن شرط اللاحدية يعني أن هذه التذبذبات تكون صغيرة بقدر ما يمكن، بما يتفق ومبدأ عدم اليقين.

وسيكون الكون قد بدأ بفتره من التمدد الأسّي أو الانفلاخي، حيث يزيد من حجمه بمعامل كبير جداً. وأثناء هذا التمدد، تظل تذبذبات الكثافة الصغيرة في أول الأمر، ولكنها فيما بعد تبدأ في الزيادة. والمناطق التي تكون الكثافة فيها أكثر هونا عن المتوسط سيبطئ تمددها بسبب شد

الجانبية للكتلة الإضافية. وفي النهاية، فإن هذه المناطق ستتوقف عن التمدد وتتقلص لتشكّل المجرات، والنجوم، وكائنات مثلنا. ويكون الكون قد بدأ في حالة مستوية منتظمة، ليصبح وعرا مضطربا بمرور الوقت. وسيفسر هذا وجود السهم الديناميكي الحراري للزمان.

ولكن ماذا سيحدث إذا / وعندما يتوقف الكون عن التمدد ويبدأ في الانكماش؟ هل سينعكس السهم الديناميكي الحراري ويبدأ الاضطراب يقل بمضى الوقت؟ إن هذا سيؤدي لكل صنوف الاحتمالات التي من نوع يشبه الروايات العلمية وذلك بالنسبة للناس الذين سيبقون أحياء من طور التمدد حتى طور الانكماش. هل سيرون الاندحاح المكسورة تجمع نفسها معا من على الأرضية وتنب عائد فوق المائدة؟ هل سيتمكنهم أن يتذكروا أسعار الغد وأن يكسبوا ثروة من سوق الأوراق المالية؟ وقد يبدو من الأكاديمي بعض الشيء أن ننشغل بما سوف يحدث عندما يتقلص الكون ثانية، لأنه لن يبدأ في الانكماش قبل ما لا يقل عن عشرة آلاف مليون سنة أخرى. على أن ثمة طريقة أسرع لمعرفة ما سيحدث : هي القفز في ثقب أسود. إن تقلص أحد النجوم ليشكل ثقبا أسود يشبه نمو المراحل المتأخرة لتقلص الكون كله. وهكذا فإنه إذا كان الاضطراب سيقبل في طور الانكماش للكون، فإن المرء قد يتوقع له أيضا أن يقل في الثقب الأسود. وهكذا فلعل الفلكي الذي سيسقط في الثقب الأسود سيتمكن من كسب النقود في لعبة الروايت بأن يتذكر أين ذهبت الكرة قبل أن يضع رهانه. (على أنه لسوء الحظ لن يتاح له زمن طويل للعب قبل أن يتم تحويله إلى اسباجتي. ولا حتى هو سيستطيع أن يجعلنا نعرف شيئا عن عكس اتجاه السهم الديناميكي الحراري، ولا حتى أن يضع مكاسبه في البنك لأنه سيقع محصورا وراء أفق حدث الثقب الأسود).

وقد اعتقدت في أول الأمر أن الاضطراب سيقبل عندما يتقلص الكون ثانية. وسبب ذلك أنني اعتقدت أن الكون سيكون عليه أن يعود إلى حالة مستوية منتظمة عندما يصبح صغيرا ثانية. وسيمنى هذا أن طور الانكماش سيكون بمثابة العكس الزماني لطور التمدد. والناس في طور الانكماش سيعيشون حياتهم وراء: فهم سيموتون قبل ولادتهم، ويصبحون أكثر شبابا كلما انكمش الكون.

إنها لفكرة جذابة لأنها تعني سمترية لطيفة بين طوري التمدد والانكماش. على أن المرء لا يستطيع أن يقر بها في حد ذاتها، مستقلة عن الأفكار الأخرى عن الكون. والسؤال هو: هل هي مما يدل عليه شرط اللاحدية، أو هي مما لا يتفق مع هذا الشرط؟ وكما سبق أن قلت، فقد اعتقدت أول الأمر أن شرط اللاحدية يدل حقا على أن الاضطراب سيقبل في طور الانكماش. وقد خُذعت جزئيا بقياس التماثل مع سطح الأرض. ولو أخذ المرء بداية الكون على أنها تقابل القطب الشمالي، فإن نهايته إذن ينبغي أن تكون مماثلة للبداية، تماما مثلما تماثل القطب الجنوبي القطب الشمالي.

على أن القطب الشمالى والجنوبى يقابلان بداية ونهاية الكون فى الزمان التخيلى. أما البداية والنهاية فى الزمان الحقيقى فقد تختلف إحداهما عن الأخرى اختلافا بالغا. كما خُدمت أيضا ببحث قمت به على نموذج بسيط للكون حيث الطور المتقلص يبدو كاته العكس الزمانى للطور المتتمد. على أن زميلا لى، هو دون بيج بجامعة ولاية بنسلفانيا وضع أن شرط اللاحدية لا يتطلب بالضرورة أن يكون الطور المنكمش هو العكس الزمانى للطور المتتمد. وفوق ذلك، فإن واحدا من طلبتى، وهو ريموند لافلام، وجد أنه فى نموذج أكثر تعقدا بدرجة هينة، يكون تقلص الكون مختلفا جدا عن التتمد. وتحققت من أنى قد ارتكبت خطأ: إن شرط اللاحدية يدل على أن الاضطراب فى الحقيقة سيستمر فى التزايد أثناء الانكماش. وسهما الزمان الديناميكى الحرارى والنفسى لن ينعكسا عندما يبدأ الكون فى الانكماش ثانية، أو لن ينعكسا فى داخل الثقوب السوداء.

ما الذى ينبغى أن تفعله عندما تعرف أنك قد ارتكبت خطأ مثل هذا؟ بعض الناس لا يقررون قط بأنهم على خطأ. وحتى يدعموا قضيتهم فإنهم يواصلون البحث عن حجج جديدة، كثيرا ما تكون غير متماسكة بصورة متبادلة - كما فعل اينشتون عند معارضة نظرية الثقب الأسود. ويزعم آخرون أنهم فى الحقيقة لم يدعموا قط فى المكان الأول النظرة غير الصحيحة، أو أنهم إذا كانوا قد فعلوا، فما كان ذلك إلا لتوضيح أنها غير متماسكة.

ويبدو لى أنك لو اعترفت كتابة بئذك على خطأ يكون هذا أفضل كثيرا وأقل بلبلة. وإينشتين كان مثالا طيبا لذلك، عندما أطلق على الثابت الكونى الذى أدخله وهو يحاول صنع نموذج ستاتيكي للكون، أنه أكبر خطأ فى حياته.

وإذ نعود إلى سهم الزمان، فإنه يبقى هناك سؤال : لماذا نلاحظ بالفعل أن السهمين الديناميكى الحرارى والكونى يشيران إلى نفس الاتجاه؟ أو بكلمات أخرى، لماذا يزيد الاضطراب فى نفس اتجاه الزمان الذى يتمدد فيه الكون؟ إذا كان المرء يؤمن بأن الكون سيتمد ثم ينكمش ثانية، كما يدل شرط اللاحدية فيما يبدو، فإن هذا يصبح سؤالا عن السبب فى أننا ينبغى أن نكون فى الطور المتتمد بدلا من الطور المنكمش.

ويمكن للمرء أن يجيب عن ذلك على أساس المبدأ الإنسانى الضعيف. فالظروف فى الطور المنكمش لن تكون ملائمة لوجود كائنات حية ذكية تستطيع أن تسأل: لماذا يزيد الاضطراب فى نفس اتجاه الزمان الذى يتمدد فيه الكون؟ والانفخاخ فى أطوار الكون المبكرة، والذى يتنبأ به شرط اللاحدية، يعنى أن الكون يتمدد ولا بد بالسرعة القريبة جدا من السرعة العرجة التى يتقادى عندها بالضبط أن يتقلص ثانية، وهكذا فإن لن يتقلص ثانية لزمان طويل جدا. وعند ذاك ستكون كل النجوم قد احترقت ومن المحتمل أن البروتونات والنيوترونات التى فيها ستتحلل إلى جسيمات ضوء

واشعاع. وسيكون الكون في حالة تكاد تقترب من الاضطراب الكامل وإن يكون ثمة سهم قوى للزمان الديناميكي الحرارى. ولا يمكن أن يزيد الاضطراب كثيرا لأن الكون سيكون بالفعل في حالة تكاد تكون اضطرابا كاملا. على أن وجود سهم ديناميكي حرارى قوى هو من الضرورى حتى تعمل الحياة الذكية. فحتى يمكن للكائنات البشرية أن تبقى، يكون عليها أن تستهلك الطعام، الذى هو شكل منتظم من الطاقة، ثم أن تحوله إلى الحرارة، التى هى شكل مضطرب للطاقة. وهكذا فإن الحياة الذكية لا يمكن أن توجد فى الطور المنكمش للكون. وهذا هو تفسير السبب فى أننا نلاحظ أن سهمى الزمان الديناميكي الحرارى والزمان الكونى يشيران إلى نفس الاتجاه، وليس السبب أن تمدد الكون هو الذى يسبب تزايد الاضطراب. والأولى، هو أن شرط اللاحدية يسبب تزايد الاضطراب وأن تكون الظروف ملائمة للحياة الذكية فى الطور المتمد فقط.

وللتلخيص، فإن قوانين العلم لا تميز بين اتجاهى الزمان أماما ووراء. على أن هناك على الأقل ثلاثة أسهم للزمان تميز بالفعل الماضى من المستقبل. وهى السهم الديناميكي الحرارى، اتجاه الزمان الذى يتزايد فيه الاضطراب؛ والسهم النفسى، اتجاه الزمان الذى نتذكر فيه الماضى لا المستقبل؛ والسهم الكونى، اتجاه الزمان الذى يتمدد فيه الكون بدلا من أن ينكمش. وقد بينت أن السهم النفسى هو فى جوهره مماثل للسهم الديناميكي الحرارى؛ وهكذا فإن الاثنين يشيران دائما فى نفس الاتجاه. وفرض اللاحدية للكون يتنبأ بوجود سهم محدد تحديدا دقيقا للزمان الديناميكي الحرارى لأن الكون يجب أن يبدأ فى حالة مستوية منتظمة. والسبب فى أننا نلاحظ أن هذا السهم الديناميكي الحرارى يتفق والسهم الكونى هو أن الكائنات الذكية لا يمكن أن توجد إلا فى الطور المتمد. فالطور المنكمش سيكون غير ملائم لأنه ليس له سهم قوى للزمان الديناميكي الحرارى.

وتقدم الجنس البشرى فى فهم الكون قد أرسى ركننا صغيرا من النظام فى كون يتزايد اضطرابه. ولو أنك تذكرت كل كلمة فى هذا الكتاب، فإن ذاكرتك تكون قد سجلت ما يقرب من مليونى قطعة من المعلومات: وسيكون النظام قد زاد فى مخك بما يقرب من مليونى وحدة. على أنك أثناء قراءتك للكتاب، ستكون قد حوت على الأقل ألف سعر حرارى من الطاقة المنتظمة على شكل طعام، إلى طاقة مضطربة على شكل حرارة، تفقدها فى الهواء من حولك بواسطة الحمل الحرارى والعرق. وسوف يزيد ذلك من اضطراب الكون بما يقرب من ٢٠ مليون مليون مليون وحدة - أو ما يقرب من عشرة مليون مليون ضعف لزيادة النظام فى مخك - هذا إذا كنت تتذكر كل شئ. فى هذا الكتاب. وفى الفصل التالى سأحاول أن أزيد النظام فى رؤوسنا أكثر قليلا بأن أفسر كيف يحاول الناس أن يواصلوا مع النظريات الجزئية التى وصفوها ليشكلوا نظرية كاملة موحدة تغطى كل شئ فى الكون.



توحيد الفيزياء

كما سبق شرحه في الفصل الأول، فإنه ليكون من الصعب جدا بناء نظرية كاملة موحدة لكل شيء في الكون دفعة واحدة. وهكذا، فإننا بدلا من ذلك قد تقدمنا بأن أوجدنا نظريات جزئية توصف مدى محدودا من الأحداث، وبأن أهملنا عوامل التأثير الأخرى أو قريباها لأرقام معينة. (الكيمياء مثلا، تتبع لنا حساب تفاعلات الذرات، دون أن نعرف البنية الداخلية لنواة الذرة). على أن المرء يأمل في النهاية، أن يجد نظرية كاملة متماسكة موحدة تتضمن كل هذه النظريات الجزئية كتقريبات، ولا تحتاج لأن تُعدّل لتتواءم مع الحقائق بأن تُلتقط في النظرية قيم أرقام معينة تصفية. والبحث عن نظرية كهذه يعرف بـ «توحيد الفيزياء». وقد اتفق أينشتين معظم سنواته الأخيرة وهو يبحث بلا نجاح عن نظرية موحدة، على أن الوقت لم يكن موافيا لذلك: فقد كان هناك نظريات جزئية عن الجاذبية، والقوة الكهرومغناطية، ولكن لم يكن يُعرف إلا القليل من القوى النووية. ووفق ذلك فإن أينشتين كان يرفض الإيمان بحقيقة ميكانيكا الكم، رغم الدور المهم الذي لعبه في إنشائها. على أنه يبدو أن مبدأ عدم اليقين هو ملمح أساسي للكون الذي نعيش فيه. والنظرية الموحدة الناجحة يجب إذن أن تتضمن بالضرورة هذا المبدأ.

وكما سابيين، فإن توقعات العثور على هذه النظرية تبدو الآن أفضل كثيرا لأننا نعرف من الكون ما هو أكثر كثيرا. على أننا ينبغي أن نحذر من الإفراط في الثقة - فقد ظهر لنا أكثر من فجر كاتب من قبل! ففي بداية هذا القرن مثلا، كان من المعتقد أنه يمكن تفسير كل شيء بوجود خواص المادة المستمرة، مثل المرونة وتوصيل الحرارة، على أن اكتشاف البنية الذرية ومبدأ عدم اليقين وضع نهاية أكيدة لذلك. ومرة أخرى فإن الفيزيائي ماكس بورن العائز على جائزة نوبل، ذكر في ١٩٢٨ لمجموعة من الزائرين لجامعة جوتنجن أن «الفيزياء، كما نعرفها، ستنتهي بعد ستة شهور». وكانت ثقته مؤسسة على اكتشاف ديراك الحديث للمعادلة التي تتحكم في الإلكترون، وكان من المعتقد أن ثمة معادلة معادلة ستحكم البروتون، الذي كان الجسيم الآخر الوحيد المعروف وقتها،

وأن هذا سيكون ختام الفيزيائيات النظرية. على أن اكتشاف النيوترون والقوى النووية أصاب هذه أيضا في مقتل. وإذا أقول ذلك، فإننى ما زلت أؤمن بأن هناك أسسا للتفاضل الحذر بأننا قد نكون الآن قريبين من نهاية البحث عن القوانين النهائية للطبيعة.

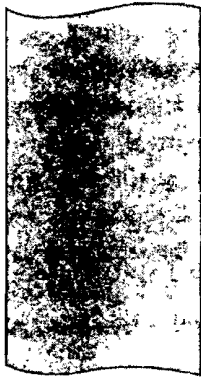
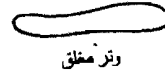
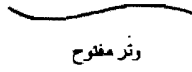
وقد وصفت فى الفصول السابقة النسبية العامة، والنظرية الجزيئية عن الجاذبية، والنظريات الجزيئية التى تحكم القوى الضعيفة، والقوية، والكهرومغناطية. والقوى الثلاث الأخيرة يمكن جمعها فيما يسمى النظريات الموحدة الكبرى Grand unified theories أو Guts ، وهى ليست جد مرضية لأنها لا تتضمن الجاذبية ولأنها تحوى عددا من الكميات، مثل الكتل النسبية للجسيمات المختلفة، لا يمكن التنبؤ بها من النظرية ولكنها مما يلزم اختياره ليتلام مع المشاهدات. والصعوبة الرئيسية فى إيجاد نظرية توحد الجاذبية مع القوى الأخرى هى أن النسبية العامة نظرية «كلاسيكية» أى أنها لا تتضمن مبدأ عدم اليقين لميكانيكا الكم. ومن الناحية الأخرى، فإن النظريات الجزيئية الأخرى تعتمد على ميكانيكا الكم بصورة جوهرية. وإن كان هذا قد ينتج عنه بعض نتائج رائعة، مثل ضم النسبية العامة مع مبدأ عدم اليقين. وكما رأينا، فإن هذا قد ينتج عنه بعض نتائج رائعة، مثل أن الثقوب السوداء لا تكون سوداء، وأن الكون ليس فيه أى مفردات. وليس له حد. والمشكلة كما شرحت فى الفصل السابع، هى أن مبدأ عدم اليقين يعنى أنه حتى الفضاء «الخاوى» يمتلك بأزواج من جسيمات ومضادات جسيمات تقديرية. وهذه الأزواج لها قدر لا متناه من الطاقة. وبالتالي حسب معادلة أينشتاين المشهورة $E = mc^2$ ، فإنها سيكون لها قدر لا متناه من الكتلة. وهكذا فإن شد جاذبيتها سيجعل الكون منحنيا إلى حجم لا متناه فى صفوه.

ويكاد يماثل ذلك، ما يبدو من وقوع لا متناهيات عبثية فى النظريات الجزيئية الأخرى، ولكن اللامتناهيات فى كل هذه الأحوال يمكن إلغاؤها بعملية تسمى إعادة التطبيع Renormalization . ويتضمن ذلك إلغاء اللامتناهيات بإدخال لامتناهيات أخرى. ورغم أن هذا التكنيك مشكوك فيه رياضيا إلى حد ما، إلا أنه يبدو مما يصلح فعلا فى التطبيق، وقد استخدم مع هذه النظريات لصنع تنبؤات تتفق مع المشاهدات إلى حد دقيق على نحو خارق. على أن إعادة التطبيع له عيب خطير من وجهة نظر محاولة إيجاد نظرية كاملة، لأنه يعنى أن القيم الفعلية للكتل ولشدة القوى لا يمكن التنبؤ بها من النظرية، وإنما ينبغى اختيارها لتتواءم مع المشاهدات.

وعند محاولة إدماج مبدأ عدم اليقين فى النسبية العامة، سيكون لدى المرء كميّن فقط يمكن تعديلهما : شدة الجاذبية، وقيمة الثابت الكونى. ولكن تعديل هذين لا يكفي لإزالة كل اللامتناهيات. وإن كان فسيكون لدى المرء نظرية يبدو أنها تتنبأ بأن مقادير معينة، مثل منحنى المكان - الزمان، هى حقا لامتناهية. إلا أن هذه المقادير يمكن بالملاحظة والقياس أن تكون متناهية تماما! وهذه المشكلة

للجمع بين النسبية العامة ومبدأ عدم اليقين قد ثار الشك بشأنها لفترة ما ، ولكنها تآكدت نهائيا بحسابات تفصيلية في ١٩٧٢ . وتم بعدها بأربع سنين ، طرح حل محتمل يسمى الجاذبية الفائقة Supergravity . والفكرة هي ضم جسيم لف ٢ ، المسمى الجرافيتون ، والذي يحمل قوة الجاذبية ، مع جسيمات أخرى جديدة معينة من لف $\frac{3}{2}$ ، و١ ، ونصف ، وصفر . وبمعنى ما ، فإن هذه الجسيمات كلها يمكن أنذاك النظر إليها كأوجه مختلفة لنفس «الجسيم الفائق» ، وهكذا تتوحد جسيمات المادة من لف نصف ، و $\frac{3}{2}$ ، مع جسيمات حمل القوة من لف صفر ، وواحد ، و٢ . وأنواع الجسيم / مضاد الجسيم التقديرية من لف نصف ، و $\frac{3}{2}$ ستكون ذات طاقة سالبة ، وهكذا فإنها تنزع إلى إلغاء الطاقة الموجبة للأنواع التقديرية من لف ٢ ، وواحد ، وصفر . وسيسبب ذلك إلغاء الكثير من اللامتناهيات المحتملة ، على أنهما يُشك فيه أن بعض اللامتناهيات قد تظل باقية . على أن الحسابات المطلوبة لمعرفة ما إذا كان يوجد أو لا يوجد أى لامتناهيات باقية ولم تلغ ، هي حسابات من الطول والصعوبة بحيث أن أحداً لم يكن على استعداد للقيام بها . وحتى مع استخدام الكمبيوتر ، فإن من المحقق أنها ستستغرق على الأقل أربعة أعوام ، والاحتمالات كبيرة جدا لأن يرتكب المرء خطأ واحداً على الأقل ، وربما أكثر . وهكذا فإن المرء لن يعرف أنه حصل على الإجابة الصحيحة إلا إذا أعاد شخص آخر الحساب وحصل على نفس الإجابة ، ولا يبدو هذا من الأمور جد المحتملة!

ورغم هذه المشاكل ، ورغم حقيقة أن الجسيمات في نظريات الجاذبية الفائقة لا يبدو أنها تتفق مع ما يلاحظ من الجسيمات ، فإن معظم العلماء قد آمنوا بأن الجاذبية الفائقة هي فيما يحتمل الإجابة الصحيحة عن مشكلة توحيد الفيزياء . وهي فيما يبدو أفضل طريقة لتوحيد الجاذبية مع القوى الأخرى . على أنه حدث تغير ملحوظ في الرأي في عام ١٩٨٤ ، في صف ما يسمى نظريات الوتر . والأشياء الأساسية في هذه النظريات ليست هي الجسيمات ، التي تشغل نقطة واحدة في المكان ، وإنما هي أشياء لها طول وليس لها أى بعد آخر ، مثل قطعة من وتر رفيع إلى ما لا نهاية له . وهذه الأوتار قد تكون ذات طرقتين (ما يسمى الأوتار المفتوحة) أو قد تكون متصلة بذاتها في حلقات مغلقة (الأوتار المغلقة) (شكل ١٠ . ١ وشكل ١٠ . ٢) . والجسيم يشغل نقطة واحدة من المكان عند كل لحظة من الزمان وهكذا فإن تاريخه يمكن تمثيله بخط في المكان - الزمان (الخط - العالم) . والوتر ، من الناحية الأخرى ، يشغل خطا في المكان عند كل لحظة من الزمان . وهكذا فإن تاريخه في المكان - الزمان هو مسطح من بعدين يسمى الصفحة - العالم . (أى نقطة على هذه الصفحة - العالم يمكن وصفها برقمين : أحدهما يعين الزمان والآخر يعين موضع النقطة على



الصفحة - العالم لوتر مقنوح

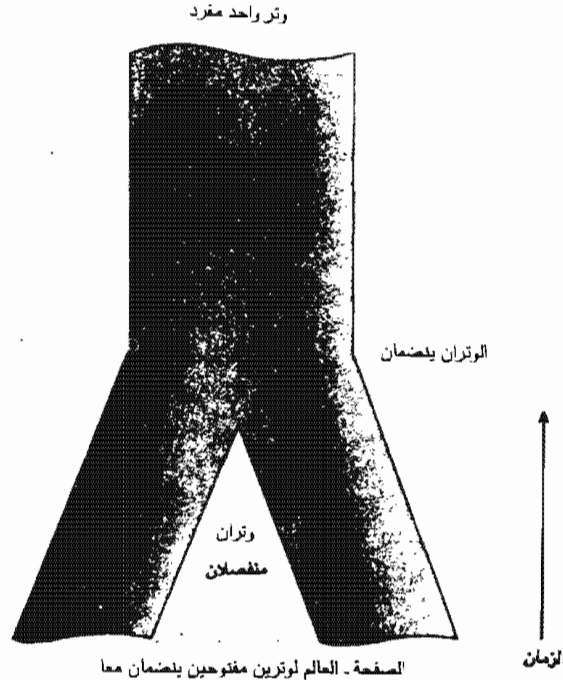
شكل ١.١



الصفحة - العالم لوتر مطلق

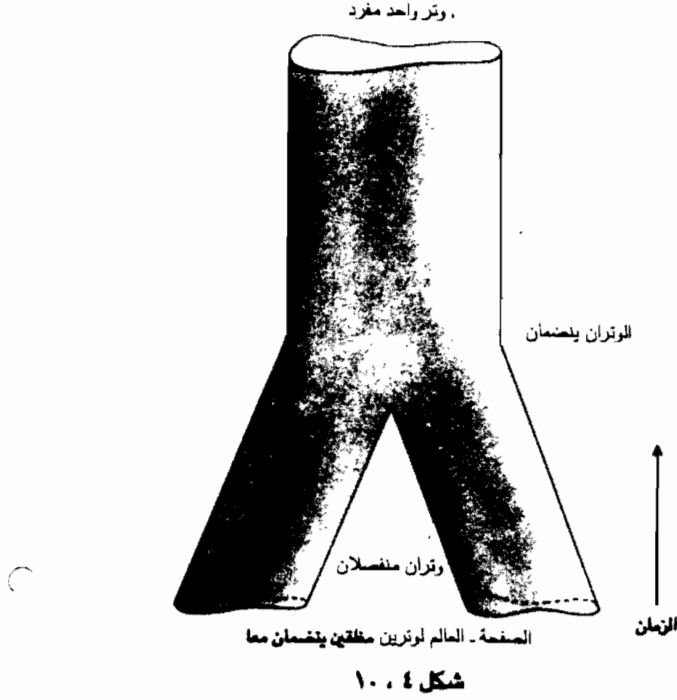
شكل ١.٢

الوتر). والصفحة - العالم للوتر المفتوح هي شريط؛ وأحرفه تمثل مسارات طرفي الوتر خلال المكان - الزمان (شكل ١٠.١). والصفحة - العالم لوتر مغلق هي أسطوانة أو أنبوبة (شكل ١٠.٢)؛ والشريحة التي تقطع من خلال الأنبوبة هي دائرة، تمثل موضع الوتر عند زمن معين واحد. ويمكن لقطعتين من الأوتار أن ينضموا معا ليشكلا وترًا واحدًا؛ وفي حالة الأوتار المفتوحة فإنها تنضم ببساطة عند أطرافها (شكل ١٠.٣)، بينما في حالة الأوتار المغلقة فإن الأمر يشبه



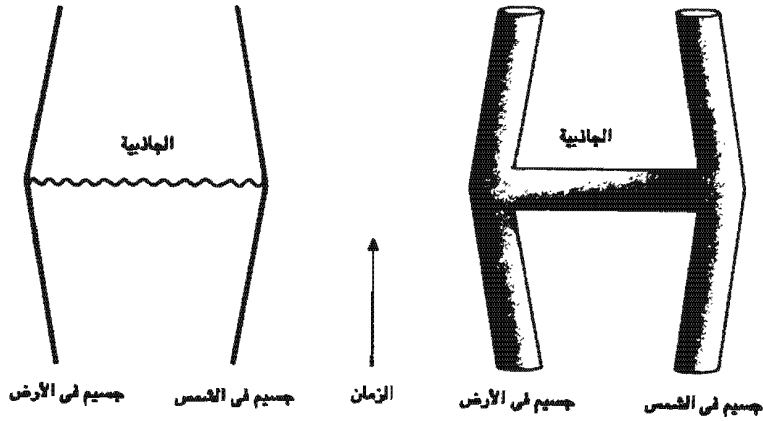
شكل ١٠.٣

ساقين ينضمان كما في ساقى السريال (البنطلون) (شكل ١٠.٤). وبالمثل فإن قطعة وتر واحدة قد تنقسم إلى وترين. وفي نظريات الأوتار، فإن ما كان يظن سابقًا أنه جسيمات يصور الآن كموجات تنتقل عبر الوتر، كما تنتقل الموجات على الوتر المتذبذب للعبة الطائرة الورقية. وانبعث أو امتصاص جسيم بواسطة جسيم آخر يقابله انقسام أو انضمام الأوتار معا. وكمثل، فإن قوة جاذبية الشمس على الأرض قد صورت في نظريات الجسيم على أنها تنسب عن انبعث جرافيتون من جسيم في الشمس وامتصاصه بجسيم في الأرض (شكل ١٠.٥). وفي نظرية الوتر، تناظر هذه العملية أنبوبة أو ماسورة على شكل حرف H (شكل ١٠.٦) (نظرية الوتر تشبه



السباكة إلى حد ما). والجانبان الراسيان لحرف H يتاخران الجسيمات في الشمس والأرض والقاطع الأفقي يتاخر الجرافيتون الذي ينتقل بينهما.

ولنظرية الوتر تاريخ عجيب. فقد ابتكرت أصلا في أواخر الستينيات من هذا القرن في محاولة لإيجاد نظرية توصف القوة القوية. وكانت الفكرة هي أن الجسيمات مثل البروتون



شكل ١٠٠٥

شكل ١٠٠٦

والليبرتون يمكن النظر إليها كموجات على وتر. والقوى القوية بين هذه الجسيمات تناظر قطع الأوتار التي تمتد بين أجزاء أخرى من التر، كما في نسيج العنكبوت. وحتى تعطي هذه النظريات القيمة المشاهدة للقوة القوية بين الجسيمات، فإن الأوتار ينبغي أن تكون مثل أربطة مطاطية لها قوة شد تقرب من عشرة أطنان.

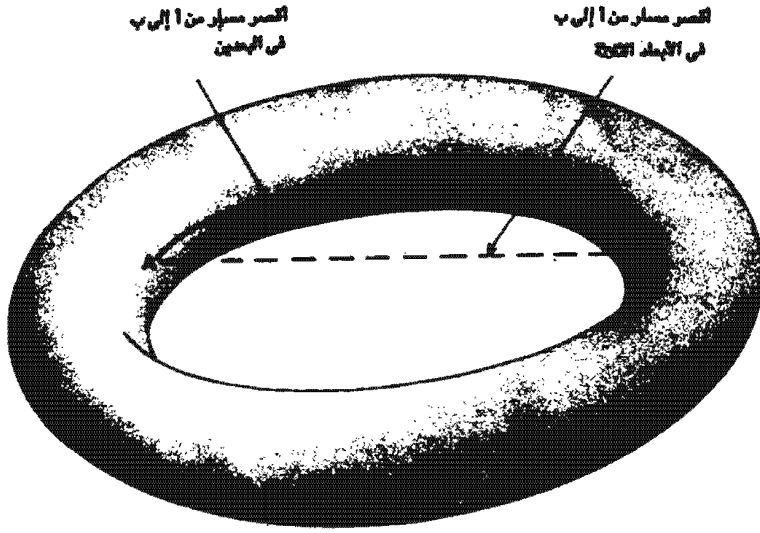
وفي عام ١٩٧٤ نشر جويل شيرك من باريس، وجول شوارتز من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، ورقة بحث بينا فيها أن نظرية الوتر يمكن أن توصف قوة الجاذبية، ولكن على أن يكون توتر الوتر أعلى كثيراً جداً، أي بما يقرب من ألف مليون مليون مليون مليون مليون طن (واحد يعقبه تسعة وثلاثون صفراً). وتنبؤات نظرية الوتر تكون معادلة بالضبط للتنبؤات النسبية العامة، فيما يتعلق بالمقاييس الطولية الطبيعية، ولكنها تختلف عند الأبعاد الصغيرة جداً، التي تقل عن جزء من ألف مليون مليون مليون مليون جزء من السنتمتر (سنتمتر مقسوم على واحد يعقبه ثلاثة وثلاثون صفراً). على أن بحثهما لم يقابل باهتمام كبير. لأن معظم الناس فيما يكاد يكون ذلك الوقت بالضبط كانوا قد نبذوا نظرية الوتر الأصلية عن القوى القوية ليحبذوا نظرية تتأسس على الكواركات والجلونات، بدا أنها تتلالم مع المشاهدات تلاقها أفضل كثيراً. ومات

شريك في ظروف مأساوية (كان يعاني من البول السكري، وداح في غيبوبة تون أن يكون هناك أحد بجواره ليحققه بالانسولين). وهكذا خُلف شوارتز وحيما. ~~وهو كان يكون المؤيد الوحيد~~ لنظرية الوتر، إلا أنها الآن قد افترض لها قيمة توتر للوتر أعلى كثيرا.

وفي عام ١٩٨٤ عاد فجأة إلى الحياة الاهتمام بالأوتار، وذلك فيما يظهر لسببين: أحدهما، أن الناس لم يصلوا حقا إلى الكثير من التقدم من حيث إيضاح أن الجانبية الفائقة متناهية أو أنها يمكن أن تفسر أنواع الجسيمات التي نلاحظها. والآخر ما تم من نشر ورقة بحث لجون شوارتز ومايك جرين من كلية الملكة ماري بلندن، تبين أن نظرية الوتر قد تستطيع أن تفسر وجود جزيئات هي جيليا عسراء، مثل بعض الجسيمات التي نلاحظها. وأيا ما كانت الأسباب، فسرعان ما بدأ عدد كبير من الناس في العمل على نظرية الوتر وتم إنشاء نسخة جديدة، هي ما يسمى بالوتر المتنامي Heterotic التي بدت وكأنها قد تستطيع تفسير أنواع الجسيمات التي نلاحظها.

ونظريات الوتر تؤدي أيضا إلى اللامتناهيات، على أنه يُعتقد أنها كلها ستلغى في النسخ من مثل نسخة الوتر المتنامي (وإن كان هذا لم يعرف بعد على وجه اليقين). على أن نظريات الوتر، لها مشكلة أكبر: فهي لا تبدو متماسكة إلا إذا كان المكان - الزمان إما عشرة أبعاد أو ستة وعشرون بعدا، بدلا من الأبعاد الأربعة المعتادة! وبالطبع، فإن الأبعاد الإضافية للمكان - الزمان هي أمر شائع في الرواية العلمية؛ والحقيقة أنها تكاد تكون ضرورية، وإلا فإن حقيقة أن النسبية تدل على عدم استطاعة المرء على الانتقال بأسرع من الضوء ستعني أن الانتقال بين النجوم والمجرات سيستغرق زمنا أطول كثيرا مما ينبغي. والفكرة في الرواية العلمية هي أنه ربما سيمكن للمرء أن يتخذ طريقا مختصرا من خلال بعد أعلى. ويمكن للمرء أن يصور ذلك بالطريقة التالية: تخيل أن الفضاء الذي نعيش فيه له فقط بعدين وأنه منحني مثل سطح حلقة مرساة أو طارة (شكل ١٠.٧) ولو كنت عند جانب من الحرف الداخلي من الحلقة وأردت أن تصل إلى نقطة على الجانب الآخر، سيكون عليك أن تدور ملتفًا على الحرف الداخلي للحلقة. على أنه لو كان في استطاعتك أن تنتقل في البعد الثالث فإنك تستطيع أن تعبر طريقك مباشرة.

لماذا لا تلحظ كل هذه الأبعاد الإضافية، لو كانت موجودة حقا؟ لماذا لا نرى فعلا إلا ثلاثة أبعاد للمكان وبعدا واحدا للزمان؟ ويُقترح لذلك أن الأبعاد الأخرى هي منحنية لداخل حين صغير الحجم جدا، شئ من مثل جزء من مليون مليون مليون جزء من البوصة. وهذا يبلغ من صغره أننا لا نلاحظه وحسب؛ فنحن لا نرى إلا بعدا واحدا للزمان وثلاثة أبعاد للمكان. يكون المكان - الزمان فيها مسطحا إلى حد ما. والأمر يشبه سطح بورتقالة: لو نظرت إليه عن قرب شديد، فإنه

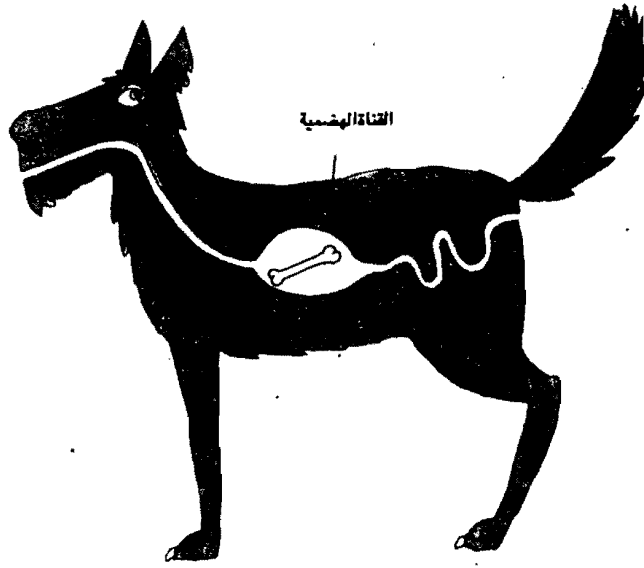


طائرة

شكل ١٠.٧

يكون كله في إنحناء وتجدد، ولكن لو نظرت إليه على مسافة، فإنك لن ترى البروزات وسيبدو مستويا. والأمر كذلك مع المكان - الزمان: فعلى المقياس الصغير جدا يكون له عشرة أبعاد ويكون مقوسا جدا، أما على المقاييس الأكبر فلن ترى الإنحناء ولا الأبعاد الإضافية. وإذا كانت هذه الصورة صحيحة، فإنها تتم عن أنباء سيئة لمن سوف يسافرون في الفضاء: فإن الأبعاد الإضافية ستكون من الصغر بما لا يسمح بمرور سفينة فضاء من خلالها. على أنها أيضا تثير مشكلة رئيسية أخرى، فلماذا ينبغي أن بعض الأبعاد، وليست كلها، هي التي تنعقد إلى كرة صغيرة؟ ومن الممكن فيما يفترض أن الأبعاد في الكون المبكر جدا كانت كلها منحنية جدا، فلماذا انبسط بعد واحد للزمان وثلاثة أبعاد للمكان، بينما ظلت الأبعاد الأخرى تنعقد معا في إحكام؟

إن إحدى الإجابات المحتملة عن ذلك هي المبدأ الإنساني. وأن يكون للمكان بعدان لا يبدو أن فيه الكفاية لإتاحة تنشئة كائنات معقدة مثلنا. وكمثل، فإن حيوانات من بعددين تعيش على أرض ذات بعد واحد سيكون عليها أن يتسلق أحدها الآخر حتى يتجاوز بعضها البعض. ولو أكل كائن ذو بعدين شيئا، فإنه لن يتمكن من هضمه هضمًا كاملا، فسيكون عليه أن يخرج الفضلات من نفس الطريق الذي ابتلعها به، لأنه لو كان ثمة مسار من خلال جسده كله، فإنه سيقسم الكائن إلى نصفين



حيوان لربيعين

شكل ٨ ، ١٠

منفصلين؛ وهكذا فإن كائننا ذا البعدين سيتمزق بددا (شكل ٨ ، ١٠). وبالمثل، فإن من الصعب أن نرى كيف يمكن أن تكون هناك أى دورة للدم فى كائن ذى بعدين.

وستكون هناك مشاكل أيضا لو كان هناك أكثر من ثلاثة أبعاد للمكان. فسوف تقل قوة الجاذبية مع بعد المسافة بين جسمين بأسرع مما يحدث مع الأبعاد الثلاثة. (فى الأبعاد الثلاثة تقل قوة الجاذبية للربيع عندما تتضاعف المسافة. وفى الأبعاد الأربعة فإنها ستقل للثمن، وفى الأبعاد الخمسة فإنها ستقل إلى ١ على ١٦، وهلم جرا). ومعزى هذا هو أن مدارات الكواكب، مثل الأرض، حول الشمس ستكون غير مستقرة: وأقل قلقلة عن المدار الدائرى (كما قد ينتج عن شد الجاذبية من الكواكب الأخرى) سينجم عنها أن تتحرك الأرض لولبيا بعيدا عن الشمس أو إلى داخلها. وسيصيرنا إما التجمد أو الاحتراق. والحقيقة، أن نفس سلوك الجاذبية مع المسافة فى أكثر من ثلاثة أبعاد يعنى أن الشمس لن تتمكن من أن توجد فى حالة مستقرة مع الضغط الموازن للجاذبية. فهى إما أن تتمزق بددا أو أنها ستتقلص لتشكلا ثقبيا أسود. وفى كلتى الحالتين، لن يكون لها فائدة كثيرة كمصدر للحرارة والضوء من أجل الحياة على الأرض. وعلى نطاق أصغر، فإن القوى

الكهرائية التي تسبب دوران الالكترونات حول النواة في الذرة ستمسك على نحو مماثل لقوى الجاذبية. وهكذا فإن الالكترونات إما أن تهرب بالكلية من النواة أو أنها ستتحرك لهايبا إلى داخل النواة. وفي كلتي الحالتين لا يمكن للمرء أن يجد الذرات كما نعرفها.

وإن، فإنه يبدو واضحا أن الحياة هي، على الأقل كما نعرفها، يمكن أن توجد فقط في مناطق المكان - الزمان التي يكون فيها البعد الواحد للزمان والأبعاد الثلاثة للمكان غير معقومة لحجم صغير. وسيعني هذا أن المرء يمكنه أن يلجأ للمبدأ الإنساني الضعيف، بشرط أن يتمكن المرء من إظهار أن نظرية الوتر هي على الأقل مما يسمح فعلا بوجود مناطق كهذه من الكون. ويبدو أن نظرية الوتر تفعل ذلك حقا. وقد تكون هناك أيضا مناطق أخرى من الكون، أو أكوان أخرى (أيًا ما كان معنى «ذلك»)، حيث كل الأبعاد معقومة في حجم صغير أو حيث تكون ثمة أبعاد أكثر من أبعاد أربعة مسطحة تقريبا، ولكن لن يكون هناك كائنات ذكية في مناطق كهذه لتلاحظ الأعداد المختلفة من الأبعاد الفعلية.

وبعيدا عن مسألة عدد الأبعاد التي يبدو أن المكان - الزمان يحوزها، فإن نظرية الوتر يظل فيها مشاكل أخرى يجب حلها قبل إمكان المناقشة بها كالنظرية النهائية الموحدة للفيزياء. ونحن لا نعرف بعد ما إذا كانت كل اللامتناهيات تلغى إحداها الأخرى فعلا، أو ما هي بالضبط الطريقة التي نلصق بها الموجات التي على الوتر إلى الأنواع المعينة للجسيمات التي نلاحظها. ومع كل، فإن من المحتمل أن سيتم العثور على الإجابات عن هذه الأسئلة خلال السنوات القليلة القادمة، وأنه بنهاية القرن سوف نعرف ما إذا كانت نظرية الوتر هي حقا ما طال البحث عنه من نظرية موحدة للفيزياء.

ولكن هل يمكن حقا أن توجد مثل هذه النظرية الموحدة؟ أو لعلنا فحسب نطارده سرايا؟ يبدو أن هناك احتمالات ثلاثة:

(١) أن هناك حقا نظرية موحدة كاملة، سوف نكتشفها يوما ما لو كنا على قدر كاف من الحظ.

(٢) أنه لا توجد نظرية نهائية للكون، وإنما فقط تتال لا متناه من النظريات التي توصف الكون بدقة أكبر وأكبر.

(٣) ليس هناك نظرية للكون؛ والأحداث لا يمكن التنبؤ بها بما يتجاوز مدى معين وإنما هي تحدث بطريقة عشوائية وتعسفية.

ومع تقدم ميكانيكا الكم، فقد وصلنا إلى تبين أن الأحداث هي مما لا يمكن التنبؤ به بدقة كاملة، وإنما هناك دائما درجة من عدم اليقين. وفي الأزمنة الحديثة، تم لنا بصورة فعالة إزالة الاحتمال الثالث أعلاه، وذلك بإعادة تحديد هدف العلم: فهدفنا هو أن نصوغ مجموعة من القوانين تمكثنا من التنبؤ بالأحداث وذلك فقط في نطاق الحد الذي يفرضه مبدأ عدم اليقين.

والاحتمال الثاني، من أن هناك تقاليا لا متناه من نظريات تُنفق أكثر وأكثر، يتفق مع كل خبرتنا حتى الآن. فنحن في مناسبات كثيرة قد زدنا من حساسية قياساتنا أو قمنا بعمل نوع جديد من المشاهدات، لنكتشف ما هو إلا ظواهر جديدة لم تكن مما تنبأ به النظرية الموجودة، وحتى نفس تلك الظواهر يكون علينا أن ننشئ نظرية أكثر تقدما. وإذن فلن يكون ما يدعش كثيرا أن يكون الجيل الحالي من النظريات الموحدة الكبرى على خطأ في إدعاء أنه لن يحدث شئ جديد جوهرى ما بين الطاقة الموحدة الضعيفة كهرييا التي تبلغ ما يقرب من ١٠٠ جى فى، والطاقة الموحدة الكبرى التي تبلغ ما يقرب من ألف مليون مليون جى فى. ويمكننا فى الحقيقة أن نتوقع أننا سوف نجد طبقات عديدة جديدة من البنية تكون أساسية بأكثر من الكواركات والالكترونات التي نعتبرها الان الجسيمات «الأولية».

على أنه يبدو أن الجاذبية قد تعد بحد لهذا التتالى من «صناديق داخل الصناديق». فلو كان عند المرء جسيم له طاقة أعلى مما يسمى طاقة بلانك، أى عشرة مليون مليون مليون جى فى (واحد يتبعه تسعة عشر صفرا)، فإن كتلته ستكون من التركيز بحيث أنه سيفصل نفسه عن سائر الكون ويشكل ثقباً أسود صغيراً. وهكذا فإنه يبدو فعلا أن تتالى النظريات المنقحة أكثر وأكثر لا بد وأن له حداً ما إذ نذهب إلى الطاقات الأعلى والأعلى، بحيث أنه لا بد من وجود نظرية ما نهائية عن الكون، وبالطبع، فإن طاقة بلانك بعيدة جدا عن الطاقات التي تبلغ حوالى مائة جى فى، وهى أقصى ما يمكننا إنتاجه فى العمل فى الوقت الحالي. ومعجلات الجسيمات لن تعبر بنا هذه الثغرة فى المستقبل المنظور! على أن المراحل المبكرة جدا للكون، هى النطاق الذى لا بد أن قد وقعت فيه طاقات كهذه. واعتقد أن ثمة فرصة جيدة لأن تؤدى بنا دراسة الكون المبكر ومتطلبات التماسك الرياضى إلى نظرية موحدة كاملة خلال حياة بعض منا ممن يعيشون حالياً، مع افتراضنا دائما أننا أولا لن نفجر أنفسنا.

ماذا معنى الأمر لو أننا اكتشفنا فعلا النظرية النهائية للكون؟ كما شرحنا فى الفصل الأول، لن يكون فى إمكاننا قط التأكد من أننا قد عثرنا حقا على النظرية الصحيحة، لأن النظريات لا يمكن البرهنة عليها. ولكن إذا كانت النظرية متماسكة رياضيا وتعطى دائما تنبؤات تتفق مع المشاهدات، فإننا يمكننا أن نقول إلى حد معقول فى أنها النظرية الصحيحة. وهى بذلك سوف تنهى

فصلاً طويلاً مجيداً في تاريخ نضال البشرية الفكرى لفهم الكون. ولكنها أيضاً سوف تؤثر فهم الشخص العادى للقوانين التى تحكم الكون. وفى زمن نيوتن كان من الممكن لشخص متعلم أن يصل إلى استيعاب كل المعرفة البشرية، على الأقل من حيث الخطوط الخارجية. أما فيما بعد ذلك فإن سرعة نمو العلم قد جعلت من هذا أمراً مستحيلاً. ولما كانت النظريات تُغيّر دائماً لتفسير المشاهدات الجديدة، فإنها لا تُهضم أو تبسط قط على النحو الصحيح بحيث يستطيع الناس العاديون فهمها. فينبغى أن تكون متخصصاً، وحتى عندها، فلن تستطيع أن تأمل فى أن تستوعب استيعاباً صحيحاً إلا نسبة صغيرة من النظريات العلمية. وفوق ذلك، فإن معدل التقدم يبلغ من سرعته أن ما يتعلمه المرء فى المدرسة أو الجامعة يكون دائماً قد ولى زمنه بعض الشيء. ولا يستطيع إلا قلة من الناس أن يلاحقوا جبهة المعرفة التى تتقدم سريعاً، ويكون عليهم أن يكرسوا كل وقتهم لها وأن يتخصصوا فى مجال ضيق. وسائر الناس ليس لديهم إلا فكرة صغيرة عن أوجه التقدم التى تُصنع أو الإثارة التى تولدها. ومنذ سبعين عاماً، إذا كان من الممكن تصديق اينشتاين، لم يكن يفهم نظرية النسبية العامة إلا فردان. وفى أيامنا هذه فإن عشرات الآلاف من خريجي الجامعة يفهمونها، وثمة ملايين كثيرة من الناس هم على الأقل على دراية بالفكرة. ولو تم اكتشاف نظرية موحدة كاملة، فسيكون الأمر مسألة وقت فقط حتى يتم هضمها وتبسيطها بنفس الطريقة لتُعلم فى المدارس، على الأقل بخطوطها الخارجية. وسوف نتمكن جميعاً وقتها من أن يكون لنا بعض فهم للقوانين التى تحكم الكون والتى هى مسئلة عن وجودنا.

وحتى لو اكتشفنا نظرية موحدة كاملة، فإن ذلك لن يعنى أننا سوف نستطيع التنبؤ بالأحداث عامة، وذلك لسببين: الأول، هو القيد الذى يفرضه مبدأ عدم اليقين فى ميكانيكا الكم على قدرتنا على التنبؤ. وما من شئ يمكننا فعله لتفادى ذلك. على أنه عند التطبيق، يكون هذا القيد الأول أقل تقييداً من القيد الثانى. والثانى ينشأ عن حقيقة أننا لا نستطيع حل معادلات النظرية على نحو مضبوط، إلا فى المواقف البسيطة جداً. (إننا لا نستطيع حتى أن نحل حلاً مضبوطاً حركة ثلاثة أجسام فى نظرية نيوتن للجاذبية، وتتزايد الصعوبة مع تزايد عدد الأجسام وتركيب النظرية). ونحن نعرف بالفعل القوانين التى تحكم سلوك المادة تحت كل الظروف إلا أقصاها تطرفاً. ونحن نعرف بالذات القوانين الأساسية التى فى الأساس من كل الكيمياء والبيولوجيا. على أننا لم نخترل هذين الموضوعين إلى حال من مشاكل محلولة؛ وحتى الآن فإننا لم نصب إلا نجاحاً تليلاً فى التنبؤ بالسلوك الإنسانى من معادلات رياضية؛

وإن فتحى لو وجدنا بالفعل مجموعة كاملة من القوانين الأساسية، فسوف تظل باقية أمامنا فى السنوات القادمة مهمة تحدى الذكاء وهى إنشاء مناهج أفضل للتقريب، بحيث نستطيع

تقديم تنبؤات مفيدة عن النتائج المحتملة في المواقف المعقدة والواقعية. فالنظرية الموحدة المتماثلة
الكاملة ليست إلا الخطوة الأولى: فهدفنا هو «الفهم» الكامل للأحداث من حولنا، وفهم وجودنا نفسه.



خاتمة

إننا نجد أنفسنا في عالم محير. ونحن نريد أن نجعل مما نراه حولنا شيئا معقولا ونسال: ما هي طبيعة الكون؟ ما هو مكاننا فيه ومن أين أتى هو وإيانا؟ لماذا يكون كما هو عليه ؟ وحتى نحاول الإجابة عن هذه الأسئلة فإننا نتخذ «صورة ما للعالم». وكما أن برجاً لامتناهياً من السلحفاة التي تسند الأرض المسطحة هو إحدى صور العالم هذه، فإن نظرية الأوتار الفائقة هي مثل ذلك تماماً. فكلاهما نظرية عن الكون، وإن كانت الأخيرة رياضية ودقيقة بدرجة أكبر كثيراً من الأولى. وكلتا النظريتين ينقصهما دليل من الملاحظة: فلم ير أحد قط سلحفاة ضخمة والأرض على ظهرها، ومع ذلك فإن أحدا لم ير أيضاً وتراً فائقاً. على أن نظرية السلحفاة تفشل في أن تكون نظرية علمية جيدة لأنها تتنبأ بأن الناس ينبغي لهم أن يقفوا من على حرف العالم. وهذا أمر لم يجد أحد أنه يتفق مع الخبرة، إلا إذا ثبت في النهاية أن هذا تفسير أمر الأفراد الذين يفترض أنهم قد اختلفوا في مثلث برمودا!

وأقدم المحاولات النظرية لتوصيف وتفسير الكون كانت تتضمن فكرة أن الأحداث هي والظواهر الطبيعية تحكمها أرواح ذات عواطف بشرية تتصرف على نحو مشابه جداً للبشر. ولا يمكن التنبؤ به. وكانت هذه الأرواح تسكن في الأشياء الطبيعية، مثل الأنهار والجبال، بما في ذلك الأجرام السماوية مثل الشمس والقمر. وكان ينبغي استرضائها واستجلاب عطفها لضمان خصوبة التربة وبوران الفصول. على أنه تدريجياً، تمت - بالضرورة - ملاحظة أن ثمة أرجح انتظام معينة: فالشمس دائماً تبرز من الشرق وتأفل في الغرب، سواء قدمت الضحية لإله الشمس أم لم تقدم. ووفق ذلك، فإن الشمس والقمر والكواكب تتبع مسارات محددة عبر السماء يمكن التنبؤ بها مقدماً بدقة لها اعتبارها. وربما ظلت الشمس والقمر كآلهة، ولكنها آلهة تخضع لقوانين صارمة. من الواضح أنها ليس لها أي استثناءات، إذا أسقط المرء من حسابه الحكايات من مثل الشمس التي توقفت ليوشع.

وفى أول الأمر، اتضحت أوجه الانتظام والقوانين هذه فى علم الفلك وحده وفى مواقف أخرى معدودة. على أنه مع نمو الحضارة، وبالأذات فى الأوامر الثلاثمائة الأخيرة، تم اكتشاف المزيد والمزيد من القوانين وأوجه الانتظام. وأدى نجاح هذه القوانين إلى أن يفترض لابلاس فى أول القرن التاسع عشر الحتمية العلمية، أى أنه اقترح أن ثمة مجموعة من القوانين تحدد تطور الكون بدقة. إذ أعطى شكله فى وقت معين.

وحتمية لابلاس كانت منقوصة من وجهين. فهى لم تبين لنا كيف ينبغى اختيار القوانين. ولم تحدد الشكل الابتدائى للكون.

ونحن نعرف الآن أن آمال لابلاس فى الحتمية لا يمكن تحقيقها، على الأقل بالشروط التى كانت فى ذهنه. فمبدأ عدم اليقين لميكانيكا الكم يدل على أن ثنائيات معينة من الكميات، مثل موضع وسرعة الجسم، لا يمكن التنبؤ بها معا بدقة كاملة.

وميكانيكا الكم تتناول هذا الموقف عن طريق نوع من نظريات الكم؛ حيث الجسيمات فيها لا يكون لها أوضاع وسرعات محددة بدقة وإنما هى تُمثَل بموجة. ونظريات الكم هذه حتمية بمعنى أنها تعطى قوانين تطور الموجة بمرور الوقت. وهكذا إذا عرف المرء الموجة عند زمن بعينه، فإنه يستطيع أن يحسبها عند أى زمن آخر. والعنصر العشوائى الذى لا يقبل التنبؤ يتدخل فقط عندما نحاول تفسير الموجة بحدود من مواضع وسرعات الجسيمات. ولكن لعل هذا هو خطأنا؛ فربما لا يكون ثمة مواضع ولا سرعات للجسيمات، وإنما هناك موجات فقط. والأمور وحسب أننا نحاول أن نلائم الموجات مع أفكارنا المسبقة عن المواضع والسرعات. وعدم التوافق الناجم هو سبب ما يظهر من عدم إمكان التنبؤ.

والواقع، أننا قد أعدنا تحديد مهمة العلم لتصبح اكتشاف القوانين التى تمكننا من التنبؤ بالأحداث فى الحدود التى يفرضها مبدأ عدم اليقين. على أن السؤال يظل باقيا: كيف أو لماذا تم اختيار قوانين الكون وحالته الابتدائية؟

وقد أعطيت فى هذا الكتاب اهتماما خاصا بالقوانين التى تحكم الجاذبية، لأن الجاذبية هى التى تشكل بنية الكون بالمقياس الكبير، حتى وإن كانت أضعف صنوف القوى. وقوانين الجاذبية كانت لا تتوافق والنظرة المستمسك بها حتى فترة قريبة جدا من أن الكون لا يتغير من حيث الزمان؛ وحقيقة أن الجاذبية تجنب دائما تدل على أن الكون ولا بد إما أنه يعتمد أو أنه ينكمش. وحسب نظرية النسبية العامة، لا بد وأنه كان هناك فى الماضى حالة من كثافة لامتناهية، الانفجار الكبير، الذى يكون بداية فعالة للزمان. وبالمثل، فلو أن الكون كله تقلص ثانية، فإنه لا بد من أن توجد فى

المستقبل حالة أخرى من كثافة لامتناهية، الانسحاق الكبير، الذى يكون نهاية الزمان. وحتى لو لم يحدث أن يتقلص الكون ثانية، فسيكون ثمة مفردات فى مناطق محلية تتقلص لتكوّن ثقوباً سوداء، وهذه المفردات تكون نهاية الزمان لأى ممن يقع فى الثقب الأسود. وكل القوانين تنهار عند الانفجار الكبير والمفردات الأخرى.

وعندما نجمع بين ميكانيكا الكم والنسبية العامة يبدو لنا احتمال جديد لم يذسأ من قبل: أن المكان والزمان معا قد يشكلان مكاناً متناهما ذا أربعة أبعاد، ليس له مفردات ولا حدود، فهو مثل سطح الأرض إلا أن له أبعاداً أكثر. ويبدو أن هذه الفكرة يمكن أن تفسر الكثير من الملاحظات الملاحظة فى الكون، مثل الاتساق على المقياس الكبير، وأيضاً ما يحدث على المقياس الأصغر من أوجه ابتعاد عن التجانس، كالمجرات مثلاً أو النجوم، بل والكائنات البشرية. بل إنها أيضاً يمكن أن تفسر سهم الزمان الذى نلاحظه.

وقد لا يكون هناك إلا نظرية واحدة، أو عدد قليل من النظريات الموحدة الكاملة مثل نظرية الرتر المتنامى، وهى نظريات متماسكة بذاتها وتتيح وجود بنيات معقدة من مثل الكائنات البشرية التى تستطيع أن تبحث قوانين الكون وتسأل عن طبيعته.

وحتى لو لم يكن من المحتمل إلا نظرية موحدة واحدة، فإنها مجرد مجموعة من القواعد والمعادلات. ما الذى ينفث النيران داخل المعادلات ويجعل لها كوناً توصف؟ إن التناول العلمى المعتاد، عن طريق بناء نموذج رياضى، لا يستطيع الإجابة عن الأسئلة عن السبب فى أنه ينبغى أن يوجد كون يوصفه النموذج. ما الذى يجعل الكون يكابد مشقة وجوده؟

وحتى الآن فإن معظم العلماء كانوا مشغولين جداً بإنشاء نظريات جديدة توصف «ما هو الكون» بحيث لم يسألوا عن «لماذا». وعلى الجانب الآخر، فإن الأفراد الذين كانت مهمتهم أن يسألوا «لماذا»، أى الفلاسفة، لم يتمكنوا من ملاحقة تقدم النظريات العلمية. وفى القرن الثامن عشر، كان الفلاسفة يعتبرون أن كل المعرفة البشرية، بما فيها العلم، هى مجالهم فناقشوا أسئلة من مثل: هل كان للكون بداية؟ على أن العلم فى القرنين التاسع عشر والعشرين أصبح على درجة بالغة من غلو التقنية والرياضة بالنسبة للفلاسفة، أو لأى فرد آخر فيما عدا قلة من المتخصصين. واختزل الفلاسفة مجال أبحاثهم إلى حد أن قال ويثجنشتين، أشهر فيلسوف فى هذا القرن: «المهمة الوحيدة التى بقيت للفلسفة هى تحليل اللغة». يالانحدار الحال عن التراث العظيم لفلسفة من أرسطو حتى كانت!

وعلى كل، فلو اكتشفنا فعلاً نظرية كاملة، فإنه ينبغى بمرور الوقت أن تكون قابلة لأن

يفهمها كل فرد بالمعنى الواسع، وليس فقط مجرد علماء معدودين. وعندها فإننا كلنا، فلاسفة وعلماء وأناساً عابدين وحسب، سنتمكن من المساهمة في مناقشة السؤال عن السبب في وجودنا نحن والكون. ولو وجدنا الإجابة عن ذلك، فسيكون في ذلك الانتصار النهائي للعقل البشرى - لأننا وقتها سنعرف الفكر الخلاق.



البرت اينشتاين

من الأمور المعروفة أن اينشتاين كان على صلة بسياسيات القنبلة الذرية: فهو قد وقع الخطاب المشهور إلى الرئيس فرانكلين روزفلت والذي يحث الولايات المتحدة على تناول الفكرة تتاولا جديا، كما أنه اشترك في جهود ما بعد الحرب لمنع الحرب الذرية. على أن هذه لم تكن مجرد تصرفات معزولة لعالم قد جُرَّ إلى عالم السياسة. فالحقيقة أن حياة اينشتاين، باستخدام كلماته هو نفسه، كانت «مقسمة بين السياسة والمعادلات».

وأول نشاطات اينشتاين السياسية كانت أثناء الحرب العالمية الأولى، عندما كان أستاذًا في برلين. وإذا أصابه السقم مما رآه من إهدار لحياة البشر، فإنه اشترك في المظاهرات ضد الحرب. وكان من أتباعه للعصيان المدني، وتشجيعه العنفي لأن يرفض الناس الالتحاق بالجيش ما جعله غير محبوب من زملائه. ثم إنه وجه جهوده بعد الحرب إلى توفيق وتحسين العلاقات الدولية. وهذا أيضا لم يجعله محبوبا، وسرعان ما جعلت نشاطاته السياسية من زيارته للولايات المتحدة أمر صعبا، حتى ولو لإلقاء المحاضرات.

والقضية الكبرى الثانية لإينشتاين كانت الصهيونية. ورغم أنه كان ينحدر من أصول يهودية، إلا أنه كان يرفض الفكرة التوراتية عن الله. على أن تزايد الانتباه إلى معاداة السامية قبل وأثناء الحرب العالمية الأولى معا، أدى به تدريجيا إلى الانتماء مع المجتمع اليهودي، وإلى أن يصبح فيما بعد مناصرا صريحا للصهيونية. ومرة أخرى فإن فقدان الشعبية لم يمنعه من المجاهرة برأيه. وأصبحت نظرياته موضعاً للهجوم؛ بل لقد أنشئ تنظيم لمعاداة اينشتاين. وأدين أحد الرجال بتحريض آخرين على قتل اينشتاين (وغُرم ستة دولارات فحسب). على أن اينشتاين ظل رابط الجاش. وعندما نُشر كتاب عنوانه «مائة مؤلف ضد اينشتاين»، كان رده الحاسم هو، «لو أنني كنت على خطأ، لكان في مؤلف واحد الكفاية!».

وفى ١٩٣٣ استحوذ هتلر على السلطة. وكان أينشتاين فى أمريكا، فأعلن أنه لن يعود لألمانيا. وبينما كانت الميليشيا النازية بعدها تغير على منزله وتجمد حسابه فى البنك، نشرت إحدى صحف برلين عنواتا رئيسيا يقول، «أنباء طيبة من أينشتاين - إنه لن يعود». وفى مواجهة تهديد النازى، نبذ أينشتاين المبادئ السلمية، وإذ خشى أن يبني العلماء الألمان القنبلة الذرية فإنه فى النهاية اقترح أنه ينبغى أن تصنع الولايات المتحدة قنبلتها. ولكنه حتى قبل تفجير أول قنبلة ذرية، أخذ يحذر علنا من مخاطر الحرب الذرية مقترحا سيطرة نولية على السلاح الذرى.

ولعل جهود أينشتاين للسلام أثناء حياته، لم تنجز إلا قليلا مما سيُكتب له البقاء - ومن المؤكد أنها لم تكسب له إلا القليل من الأصدقاء. على أن دعمه الصريح للقضية الصهيونية قد أقر به فى ١٩٥٢ على النحو اللائق، إذ عرضت عليه رئاسة إسرائيل. ورفض المنصب، وهو يقول إنه يعتقد أنه فى السياسة ساذج أكثر مما ينبغى. ولعل السبب الحقيقى فى رفضه كان مختلفا: وبالاستشهاد به ثانية فإن، «المعادلات أكثر أهمية بالنسبة لى، لأن السياسة تختص بالوقت الحالى، أما المعادلة فشئ يختص بالخلود».



جاليليو جاليليو

لعل جاليليو، أكثر من أى شخص آخر بمفرده، هو المسئول عن ميلاد العلم الحديث، وخلافه المشهور مع الكنيسة الكاثوليكية كان أمراً محورياً بالنسبة لفلسفته، ذلك أن جاليليو كان من أول من حاجباً بأن الإنسان فى وسعه أن يأمل فهما لطريقة عمل العالم، وفوق ذلك فإننا نستطيع القيام بذلك بملاحظة العالم الواقعى.

وقد آمن جاليليو بنظرية كوبرنيكوس (بأن الكواكب تدور حول الشمس) منذ زمن مبكر، ولكنه لم يبدأ فى مناصرتها علناً إلا عندما وجد الدليل اللازم لدعم الفكرة. وقد كتب عن نظرية كوبرنيكوس بالإيطالية (وليس باللاتينية الأكاديمية المعتادة)، وسرعان ما انتشر التأييد لأفكاره خارج الجامعات. وقد أزعج هذا الأساتذة الأرسطيين، فاتحدوا ضده وهم يتمتعون حضن الكنيسة الكاثوليكية على حظر النظرية الكوبرنيكية.

وإذا أثار هذا قلق جاليليو، فإنه سافر إلى روما ليتحدث إلى السلطات الكليركية. واحتج بأن الإنجيل لم يقصد به أن يخبرنا بأى شئ عن النظريات العلمية، وأنه من المعتاد - عندما يختلف الإنجيل مع الحس المشترك - افتراض أن تعبير الإنجيل مجازى. على أن الكنيسة كانت تخشى وقوع فضيحة تقوض من حريتها ضد البروتستانتية، وهكذا فإنها اتخذت إجراءات قمعية. وأعلنت فى عام ١٦١٦ أن الكوبرنيكية «زائفة وخاطئة»، وأمرت جاليليو ألا يعود قط إلى «الدفاع عن المذهب أو المناداة به». وأذعن جاليليو.

وفى ١٦٢٣ أصبح أحد أصدقاء جاليليو لزمن طويل هو البابا. وعلى الفور حاول جاليليو إلغاء مرسوم ١٦١٦. وقد فشل فى ذلك، إلا أنه تمكن بالفعل من الحصول على تصريح بوضع كتاب يناقش كلتي النظريتين الأرسطية والكوبرنيكية، وذلك بشرطين: ألا يناحز لأى جانب، وأن يصل إلى استنتاج أن الإنسان لا يستطيع بأى حال أن يحدد كيف يعمل العالم لأن الله يستطيع أن يأتى

بنفس النتائج بطرق لا يتخيلها الإنسان، الذى لا يستطيع أن يضع قيودا على القدرة الإلهية.

وهذا الكتاب، «حوار بشأن النظامين الأساسيين للعالم» قد اكتمل ونشر فى ١٦٣٢، بدعم كامل من الرقباء - وقد رُحِبَ به فى التوفى أوروبا كلها كمؤلف فذ فى الألب والفلسفة. وسرعان ما تبين البابا أن الناس يلتمسون الكتاب كمحاجة مقنعة فى صف الكوبرنيكية، فندم على السماح بنشره. واحتج البابا بأنه رغم أن الكتاب قد حاز موافقة الرقباء رسمياً، إلا أن جاليليو قد انتهك مرسوم ١٦١٦. وأتى جاليليو أمام محكمة التفتيش، التى حكمت عليه بتحديد إقامته فى منزله طيلة حياته وأمرته بأن ينكر علانية النظرية الكوبرنيكية. للمرة الثانية أذعن جاليليو.

وقد ظل جاليليو كاثوليكيًا مخلصًا، ولكن إيمانه باستقلال العلم لم يمحى. وقبل أن يموت بأربعة أعوام فى ١٦٤٢، وهو ما زال رهن الاعتقال بالمنزل، هُربت مخطوطة كتابه الرئيسى الثانى إلى ناشر فى هولندا. وهذا المؤلف الذى يشار إليه باسم «علمان جديان» كان منشأ الفيزياء الحديثة، بما هو أكثر حتى من تأييده لكوبرنيكوس.



إسحق نيوتن

لم يكن إسحق نيوتن بالشخص اللطيف، وعلاقاته مع الأكاديميين الآخرين مشهور أمرها، وكانت معظم سنى حياته الأخيرة مشوشة بانفاقها فى خلافات مشتعلة، وعقب نشر كتابه «مبادئ الرياضه» - وهو بالتأكيد أكثر الكتب على الإطلاق تأثيرا فيما كتب فى الفيزياء - زاد سريعا ماله من شهرة عامة. وعين رئيسا للجمعية الملكية وأصبح أول عالم على الإطلاق يرسم فارسا.

وسرعان ما اصطدم نيوتن مع جون فلامستد عالم الفلك بالمرصد الملكى، الذى سبق أن أمد نيوتن بالكثير من المعطيات اللازمة لكتاب «المبادئ»، ولكنه بعدها أخذ يحجب المعلومات التى يريد بها نيوتن. ولم يكن نيوتن بالذى يقبل الرد بالنفى؛ فسعى حتى عين فى الهيئة التى تدير المرصد الملكى ثم حاول فرض نشر المعطيات فورا، ورتب فى النهاية عملية الاستحواذ على عمل فلامستد وإعداده للنشر على يد عبده اللود إدمووند هالى. على أن فلامستد ذهب بقضيته إلى المحكمة، وفى اللحظة الحاسمة، نال أمرا قضائيا يحظر نشر عمله المسروق، وثار سخط نيوتن؛ وسعى للانتقام بأن محا باطراد كل إشارة لفلامستد فى الطبعاات اللاحقة من «المبادئ».

ونشأ نزاع أكثر خطورة مع الفيلسوف الألمانى جوتفريد ليبنتز. وكان كل من نيوتن وليبنتز قد أنشأ على حدة فرعا من الرياضيات يسمى التفاضل والتكامل هو فى الأساس من معظم الفيزياء الحديثة. ورغم أننا نعرف الآن أن نيوتن قد اكتشف حساب التفاضل قبل ليبنتز بسنوات، إلا أنه نشر مؤلفه بعدها بكثير. ونشأ شجار كبير عمن يكون الرائد، بينما دافع العلماء دفاعا عنيفا عن كل من الطرفين المتنافسين. على أن من الجدير بالملاحظة، أن معظم المقالات التى ظهرت دفاعا عن نيوتن كتبت أصلا بيده هو نفسه - ونشرت فحسب باسم أصدقائه! ومع تنامي الشجار، ارتكب ليبنتز غلطة الالتجاء إلى الجمعية الملكية لحل النزاع. وعين نيوتن، بصفته رئيسا، لجنة «محايدة» للاستقصاء، صادف أن تكونت بالكلية من أصدقاء نيوتن! ولم يكن هذا كل شئ -

فقد كتب نيوتن هو نفسه بعدما تقرير اللجنة، وجعل الجمعية الملكية تنشره، متهما لـلينتز رسمياً بالانتحال. ولم يكفه هذا ، فقام بكتابة استعراض التقرير دون توقيع، في دورية الجمعية الملكية ذاتها. وبعد موت لـلينتز، سُجل عن نيوتن إعلان ارتياحه التام من أنه «قد سحق قلب لـلينتز».

وأثناء الفترة التي انقضت في هذين النزاعين، كان نيوتن قد ترك بالفعل كمبريدج والأكاديمية. وكان لـنيوتن نشاطه في السياسة ضد الكاثوليكية في كمبريدج، وفيما بعد في البرلمان، وكوفي في النهاية بمنصب مجزٍ هو محافظ دار السك الملكية. وقد استخدم هنا مواهبه في المروعة والنقد اللاذع على نحو أكثر قبولا اجتماعيا، فقاد بنجاح حملة كبرى ضد التزييف، بل وأرسل العديد من الرجال إلى حتفهم على المشانق.



absolute zero:

الصفر المطلق : أقل درجة حرارة ممكنة، حيث المادة لا تحوى طاقة حرارية.

acceleration:

هجلة السرعة : المعدل الذى تتغير به سرعة الشئ.

anthropic principle:

المبدأ الإنسانى: نحن نرى الكون بما هو عليه لأنه لو كان مختلفا، لما كنا هنا لتلقيه.

antiparticle:

مضاد الجسيم: كل نوع من جسيمات المادة له مضاد جسيم مناظر له. وعندما يصطدم جسيم بمضاده، فإنهما يفنيان، ولا يتخلف إلا الطاقة.

atom:

الذرة : الوحدة الأساسية للمادة العادية، وتتكون من نواة دقيقة (تتألف من البروتونات والنيوترونات) محاطة بالكثرونات تدور من حولها.

big bang

الانفجار الكبير: المفردة التى عند بدء الكون.

big crunch:

الانسحاق الكبير: المفردة التى عند نهاية الكون.

black hole :

الثقب الاسود: منطقة فى المكان - الزمان لا يستطيع أى شئ أن يهرب منها، ولا حتى الضوء، لأن الجاذبية عندها قوية جدا.

Chandrasekhar limit:

حد شاندراسيخار : أقصى كتلة ممكنة لنجم بارد مستقر، وإذا زادت عن ذلك فإن النجم يجب أن يتقلص إلى ثقب أسود.

conservation of energy:

حفظ الطاقة : القانون العلمى الذى يقرر أن الطاقة (أو ما يكافئها من كتلة) لا يمكن أن تُستحدث أو تُفنى.

coordinates :

الإحداثيات : الأرقام التى تعين موضع نقطة فى المكان والزمان.

cosmological constant :

الثابت الكونى : حيلة رياضية استخدمها أينشتين ليضيف على المكان - الزمان نزعة جبلية للتمدد.

cosmolgy :

علم الكونيات : دراسة الكون ككل.

electric charge :

الشحنة الكهربائية : خاصية للجسيم يمكن له بواسطتها أن يتنافر (أو يتجاذب) مع الجسيمات الأخرى التى لها شحنة بعلامة مماثلة (أو مضادة).

electromagnetic force :

القوة الكهرومغناطية : القوة التي تنشأ بين الجسيمات ذات الشحنة الكهربائية، وهي ثاني أقوى قوة من القوى الأساسية الأربع.

electron :

الالكترون : جسيم له شحنة كهربائية سالبة ويدور حول نواة الذرة.

electroweak unification energy :

الطاقة الموحدة ضعيفة الكهربية: طاقة (من حوالى ١٠٠ جى فى) لو تم تجاوزها يختفى التمييز بين القوة الكهرومغناطية والقوة الضعيفة.

elementary particle :

جسيم أولى : جسيم يعتقد أنه لا يمكن انقسامه لما هو أصغر.

event :

حدث : نقطة فى المكان - الزمان تتميز بزمانها ومكانها.

event horizon :

أفق الحدث : حد الثقب الأسود.

exclusion perinciple :

مبدأ الاستبعاد : لا يمكن لجسيمين متماثلين من لف نصف أن يكون لهما معا (فى الحدود التى يفرضها مبدأ عدم اليقين) نفس الموضع ونفس السرعة.

field

مجال : شئ يوجد خلال كل المكان والزمان، وذلك فى مقابلة مع الجسيم الذى لا يوجد إلا عند نقطة واحدة فى الوقت الواحد.

frequency :

تردد : بالنسبة للموجة، عدد الدورات الكاملة فى كل ثانية.

gamma ray

إشعاع جاما : موجات كهرومغناطية طولها قصير جداً، تنتج عن التحلل الإشعاعي أو عن اصطدامات بين الجسيمات الأولية.

general relativity :

النسبية العامة : نظرية أينشتاين المؤسسة على فكرة أن قوانين العلم ينبغي أن تكون متماثلة بالنسبة لكل القائمين بالملاحظة، بصرف النظر عن كيفية تحركهم. وهي تفسر قوة الجاذبية بحدود من انحناء المكان - الزمان ذي الأبعاد الأربعة.

geodesic :

جيوذيسى : أقصر (أو أطول) مسار بين نقطتين.

grand unification energy :

الطاقة الموحدة الكبرى: الطاقة التي يعتقد أنه عند تجاوزها تصبح القوة الكهرومغناطية، والقوة الضعيفة، والقوة القوية مما لا يمكن تمييزها إحداهما عن الأخرى.

grand unified theory (GUT)

النظرية الموحدة الكبرى: نظرية توحد القوى الكهرومغناطية، والقوية، والضعيفة.

imaginary time :

زمن التخيلى : زمان يقاس باستخدام الأرقام التخيلية.

light cone :

مخروط الضوء : سطح فى المكان - الزمان يحدد الاتجاهات المحتملة لأشعة الضوء التي تمر من خلال حدث معين.

light-second (light - year) :

ثانية ضوئية (سنة ضوئية): المسافة التي يتحركها الضوء فى ثانية (سنة) واحدة.

magnetic field :

المجال المغناطيسى: المجال المسئول عن القوى المغناطيسية، والذي يُدمج الآن هو والمجال

الكهربائي، في المجال الكهرومغناطى.

mass :

الكتلة : كمية المادة فى جسم ما؛ أو قصوره الذاتى، أو مقاومته لعجلة السرعة.

microwave background radiation :

إشعاع الخلفية الميكروويفية: إشعاع من توهج الكون المبكر الساخن، ينزاح الآن إزاحة حمراء كبيرة، بحيث يبدو لا كضوء، وإنما كموجات ميكرويف (موجات راديو طول الموجة منها سنتيمترات معدودة).

naked singularity :

مفردة عارية : مفردة المكان - الزمان التى لا يحيط بها ثقب أسود.

neutrino :

نيوترينو : جسيم أولى للمادة خفيف للغاية (بلا كتلة فيما يحتمل) لا يتأثر إلا بالقوة الضعيفة والجاذبية.

neutron :

نيوترون : جسيم بلا شحنة، مشابه جدا للبروتون، ومسئول عما يقارب نصف جسيمات النواة فى أغلب الذرات.

neutron star :

نجم النيوترون : نجم بارد، يقوم على التناثر بين النيوترونات حسب مبدأ الاستبعاد.

no bounday condition :

شرط اللاحدية : فكرة أن الكون متناهِ ولكنه بلا حد (فى الزمان التخيلى).

nuclear fusion :

الاندماج النووى: العملية التى تصطدم فيها نواتان وتلتحمان لتكونا نواة واحدة أثقل.

nucleus :

النواة: الجزء المركزى للذرة، ويتكون فقط من البروتونات والنيوترونات، التى تتماسك معا بالقوة القوية.

particle accelerator :

معجل الجسيمات : ماكينة تستطيع باستخدام المغناطيسات الكهربائية أن تعجل الجسيمات المشحونة المتحركة، معطية إياها طاقة أكثر.

phase :

طور : بالنسبة للموجة، هو وضع في دورتها عند وقت معين: مقياس يقيس ما إذا كانت عند الذروة، أو القرار، أو عند نقطة ما فيما بينهما.

photon :

فوتون : كم ضوء.

planck's quantum principle:

مبدأ الكم لبلاكنك: فكرة أن الضوء (أو أى موجات أخرى كلاسيكية) لا يمكن أن يُبعث أو يُمتص إلا في كمات منفصلة، تكون طاقتها متناسبة مع نذبيتها.

positron :

بوزيترون : مضاد الجسيم للإلكترون (موجب الشحنة).

primordial black hole :

ثقب أسود بدائي : ثقب أسود يتم استحداثه في الكون المبكر جدا.

proportional :

متناسب : «س تتناسب مع ص» يعنى أنه عندما تُضرب ص في أى رقم، فإن س تضرب أيضا كذلك. «س تتناسب عكسيا مع ص» يعنى أنه عندما تضرب ص في رقم، تقسم س على هذا الرقم.

proton :

بروتون : جسيمات ذات شحنة موجبة تكون بالتقريب نصف جسيمات الإنواة في معظم الذرات.

quantum :

الكم : وحدة لا تنقسم هي التي يمكن أن تُبعث بها الموجات أو تمتص.

quantum mechanics :

ميكانيكا الكم: النظرية التي نشأت عن مبدأ الكم لبلاك ومبدأ عدم اليقين لها يزنبرج.

quark

كوارك : جسيم أولي (مشحون) يحس بالقوة الكبرى. البروتونات والنيوترونات يتكون كل منهما من ثلاثة كواركات.

radar :

رادار : نظام يستخدم نبضات موجات الراديو للكشف عن موضع الأشياء بقياس الزمن الذي تستغرقه النبضة الواحدة حتى تصل إلى الشيء ثم تنعكس ثانية.

radioactivity :

نشاط إشعاعي: التطل التلقائي لأحد أنواع النويات الذرية إلى نوع آخر.

red shift :

الإزاحة الحمراء : إحمرار الضوء من أحد النجوم التي تتحرك بعيدا عنا، ويرجع إلى تأثير دوبلر.

singularity :

مفردة: نقطة في المكان - الزمان يصبح انحناء المكان - الزمان عندها لا متناهي.

singularity theorem :

نظرية المفردة : نظرية تبين أن المفردة لا بد أن توجد في ظروف معينة - وبالذات، أن الكون بدأ ولا بد بمفردة.

space-time :

المكان - الزمان : المكان ذو الأبعاد الأربعة ونقطه هي الأحداث.

spatial dimension :

البعد المكاني : أي بعد من الأبعاد الثلاثة للمكان - الزمان التي هي شبه مكانية - بمعنى، أي

بعد سوى بعد الزمان.

special relativity :

النسبية الخاصة : نظرية أينشتاين التي تتأسس على فكرة أن قوانين العلم ينبغي أن تكون متماثلة بالنسبة لكل القائمين بالملاحظة ممن يتحركون حركة حرة، بصرف النظر عن سرعتهم.

spectrum :

الطيف : الانشطار، مثلاً، في موجة كهرومغناطية إلى الترددات المكونة لها.

spin :

لف (دوران لوإبى): خاصّة داخلية للجسيمات الأولية تُنسب إلى مفهوم اللف في الحياة اليومية، وإن كانت لا تتطابق معه.

stationary state :

حالة مستقرة : حالة لا تتغير بالزمان : الكرة التي تلف بمعدل ثابت هي مستقرة لأنها تبدو متماثلة عند أى لحظة، حتى وإن كانت غير ساكنة.

strong force :

القوة القوية: أقوى قوة من القوى الأربع الأساسية، وأقصرها كلها في المدى. وهي تمسك الكواركات معاً من داخل البروتونات والنيوترونات، وتمسك البروتونات والنيوترونات معاً لتكون النرات.

uncertainty principle :

مبدأ عدم اليقين : لا يمكن قط أن يتأكد المرء بالضبط من كل من موقع الجسيم وسرعته معاً؛ وكلما عرف واحداً منها بدقة أكبر، قلت دقة ما يستطيع المرء أن يعرفه عن الآخر.

virtual particle :

جسيم تقديري: في ميكانيكا الكم، جسيم لا يمكن أبداً الكشف عنه مباشرة، ولكن وجوده له بالفعل تأثيرات قابلة للقياس.

wave/particle duality:

ازدواجية الموجة / الجسيم : مفهوم فى ميكانيكا الكم بأنه ليس ثمة تمييز بين الموجات والجسيمات ، فالجسيمات قد تمتلك أحيانا مثل الموجات، والموجات مثل الجسيمات.

wavelength :

طول الموجة : بالنسبة للموجة، هو المسافة بين قرايين متجاورين أو ذروتين متجاورتين.

weak force :

القوة الضعيفة : ثانية أضعف قوة من القوى الأربع الأساسية، ومداهما قصير جدا. وهى تؤثر فى كل جسيمات المادة، ولكنها لا تؤثر فى الجسيمات حاملة الطاقة.

weight :

الوزن : القوة التى يمارسها مجال الجاذبية على أحد الأجسام. وهى تتناسب مع كتلته ولكنها ليست مماثلة لها.

white dwarf :

القزم الأبيض: نجم بارد مستقر، يقوم على التناثر بين الالكترونات حسب مبدأ الاستبعاد.

نم احاطه الرفع بواسطه

مكتبه عمل

ask2pdf.blogspot.com